



Disertační práce

**ŘÍZENÍ VLASTNOSTÍ TEKUTÉ OCELI PŘED JEJÍM PLYNULÝM
ODLÉVÁNÍM**

Ing. Tomáš GUMULEC

Studijní program:	Metalurgie
Studijní obor:	Metalurgická technologie
Školitel:	prof. Ing. Zdeněk Adolf, CSc.
Školící pracoviště:	Katedra metalurgie

Ostrava 2011

Chtěl bych tímto způsobem poděkovat svému školiteli panu Prof. Ing. Zdeňku Adolfovi, CSc., za odborné vedení v průběhu doktorského studia a stejně tak za jeho cenné rady a kritické připomínky, které mi pomohly překlenout problémy při zpracování této disertační práce.

Zároveň chci poděkovat vedení katedry Metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity v Ostravě a jejím pracovníkům za pomoc, odborné rady a podněty. Poděkování rovněž patří pracovníkům Třineckých železáren, a.s., kteří mi pomáhali při experimentálních provozních pokusech a jejich vyhodnocování.

Úvod	
Seznam použitých zkratk	1
Seznam použitých veličin	2
Abstrakt	3
Úvod	4
1. Metalografická čistota	5
2. Nekovové vměstky	6
2.1 Rozdělení vměstků	6
2.1.1 Exogenní vměstky	7
2.1.2 Endogenní vměstky	7
2.2 Sulfidické vměstky	7
2.2.1 Morfologie sulfidických vměstků	7
2.2.2 Typy sulfidických vměstků	9
2.2.3 Tvar sulfidických vměstků	9
2.3 Oxidické vměstky	9
2.3.1 Morfologie oxidických vměstků	9
2.3.2 Typy oxidických vměstků	10
2.4 Nitridy, karbidy a komplexní vměstky	10
3. Zarůstání výlevků mezipánve ZPO	12
4. Modifikace nekovových vměstků	13
4.1 Vápník	14
4.2 Hliník	15
4.3 Síra	16
4.4 Vliv vybraných prvků na vlastnosti a jakost oceli	16
4.4.1 Modifikace vápníkem z hlediska morfologie vměstků	16
4.4.2 Vliv obsahu vápníku na vlastnosti oceli	17
4.4.3 Vliv obsahu hliníku, vápníku a síry na typ vznikajících vměstků	18
4.4.4 Vliv obsahu kyslíku na vlastnosti a jakost oceli	19
4.5 Tvorba tekutých vměstků typu $x\text{CaO} \cdot y\text{Al}_2\text{O}_3$	20
4.5.1 Účinnost využití vápníku	25
5. Možnosti přidávání vápníku, hliníku a síry do oceli	27
5.1 Vstřelování plněného profilu	27
5.2 Dmýchání prášku	27
6. Statistický rozbor parametrů vybraných značek oceli	29

6.1	Použité statistické metody	29
6.1.1	Histogram	29
6.1.2	Box plot	30
6.1.3	Analytický nástroj korelace	30
6.1.3.1	Korelace párová	30
6.1.3.2	Korelace parciální	30
6.1.4	T-test	31
6.1.5	Párová lineární regrese	31
6.1.6	Vícenásobná lineární regrese	31
6.2	Parametr tekutosti	32
6.3	Vybrané parametry oceli	32
7.	Cíle disertační práce	34
8.	Závěr teoretické části	35
	Experimentální část	36
9.	Vybrané jakosti oceli	37
9.1	SBQ oceli – charakteristika	37
9.2	Použití SBQ ocelí	37
9.3	Produkt mix SBQ ocelí v Třineckých železárnách a.s.	39
9.4	Ocel C35RKL	39
9.5	Ocel 30MnVS6	39
10.	Použité formy vápníku k modifikaci vměstků	42
10.1	Vápník ve formě CaSi	42
10.2	Vápník ve formě CaCN ₂	42
11.	Modifikace nekovových vměstků ocelí třídy C35RKL pomocí vápníku ve formě CaSi	43
11.1	Popis experimentu	43
11.2	Vývoj chemického složení sledovaných taveb jakostí C35RKL	43
11.3	Vývoj chemického složení a bazicity strusky	46
11.4	Teplota oceli v průběhu zpracování	47
11.5	Poměry mezi Ca, Al a S v průběhu zpracování	48
11.6	Mikročistota taveb oceli jakosti C35RKL	51
11.7	Dílčí závěr	54
12.	Modifikace nekovových vměstků ocelí třídy 30MnVS6 pomocí vápníku ve formě CaCN₂	56
12.1	Popis experimentu	56

12.2	Vývoj chemického složení sledovaných taveb jakostí CaCN_2	56
12.3	Vývoj chemického složení a bazicity strusky	59
12.4	Teplota oceli v průběhu zpracování	60
12.5	Poměry mezi Ca, Al a S v průběhu zpracování	61
12.6	Mikročistota taveb oceli jakosti CaCN_2	64
12.7	Dílčí závěr	67
13.	Porovnání výsledků experimentálních taveb obou sekvencí SBQ ocelí	69
14.	Statistická analýza vybraných taveb SBQ ocelí	72
14.1	Výsledky párové korelační analýzy	73
14.2	Výsledky parciální korelační analýzy	75
14.3	Výsledky lineární regresní analýzy	77
14.4	Výsledky vícenásobné lineární regrese	77
15.	Porovnání výsledků statistických analýz	80
16.	Závěr	82
	Seznam použité literatury	83
	Moje publikační činnost během postgraduálního studia týkající se dané problematiky:	86
	Zahraniční publikace	87
	Tuzemské publikace	87
	Závěrečné zprávy	88
	Přílohy	90

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

KK	kyslíkový konvertor
AS	argonovací stanice
SL	scandinavian lance
RH	vakuovací stanice typu RH
ZPO	Zařízení pro plynulé odlévání oceli
SBQ	Special Bar Quality
KVZ	kovy vzácných zemin
NKV	nekovový vměstek
DTP	detailní technologický předpis
Al_2O_3	oxid hlinitý
$\text{Al}_2\text{O}_{3(s)}$	tuhý oxid hlinitý
CaO	oxid vápenatý
$\text{CaO}_{(s)}$	tuhý oxid vápenatý
MnS	sulfid manganatý
FeS	sulfid železnatý
CaS	sulfid vápenatý
FeO	oxid železnatý
MnO	oxid manganatý
SiO_2	oxid křemičitý
B	bazicita strusky
CaSi	silikocalcium
CaFe	ferocalcium
CaCN_2	kyanamid vápenatý (dusíkaté vápno)
FeMn	feromangan
MnSi	silikomangan
FeSi	ferosilicium
FeSiMn	ferosilikomangan
FeTi	ferotitan
PT	parametr tekutosti
ppm	parts per milion
% . hm	hmotnostní procento

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

[S]	obsah síry v tekuté oceli	[%. hm]
[Al]	obsah hliníku v tekuté oceli	[%. hm]
[Ca]	obsah vápníku v tekuté oceli	[%. hm]
[O]	obsah kyslíku v tekuté oceli	[%. hm]
[Ca / Al]	poměr obsahů vápníku a hliníku v oceli	[%. hm]
(Al) _v	obsah hliníku ve vměstku	[%. hm]
(Ca) _v	obsah vápníku ve vměstku	[%. hm]
(CaO) _v	obsah CaO ve vměstku	[%. hm]
(CaS) _v	obsah CaS ve vměstku	[%. hm]
(CaO)	obsah CaO ve strusce	[%. hm]
(CaS)	obsah CaS ve strusce	[%. hm]
(Al ₂ O ₃)	obsah Al ₂ O ₃ ve strusce	[%. hm]
(Ca / Al) _v	poměr obsahů vápníku a hliníku ve vměstku	[%. hm]
([Ca].[S]) _{rovn.}	rovnovážná koncentrace vápníku a síry v oceli	[1]
([Ca].[S]) _{skut.}	skutečná koncentrace vápníku a síry v oceli	[1]
a _(CaS)	aktivita CaS	[%. hm]
K	rovnovážná konstanta	[1]
f _(Ca)	aktivitní součinitel vápníku	[1]
f _(S)	aktivitní součinitel síry	[1]

ABSTRACT

Based on literature analyze as well as analyze of experimental heats results, submitted dissertation analyze basic knowledge from the area of non metallic inclusions modification in continuous casting billets.

First part of the dissertation analyzes microcleanness of the steel from the non metallic inclusions which are present in the steel point of view. Main focus is given to oxide and sulfide inclusions. Morphology, types and shapes are especially discussed.

Second part of the dissertation is focused on the concrete questions regarding modification of Al_2O_3 inclusions by the calcium to liquid globular calcium aluminates $\text{xCaO.yAl}_2\text{O}_3$ and issues with nozzle clogging of the tundish submerged nozzles during continuous casting of the steel. Especially three basic elements were discussed which influence the nozzle clogging – calcium, aluminum and sulfur and their effect on the technological steel properties. Further dissertation analyzes possible types of Al_2O_3 inclusions modified by calcium with respect to sulfur content in the steel.

Third part of the dissertation is focused on methods of mathematical statistics which were used for statistic evaluation of experimental heats results. Graphical statistic methods are described here (histogram and box plot) as well as numeric numerical statistic methods (binate and partial correlation analyze and linear and multiple linear regression).

Theoretical knowledge is verified in the experimental part of dissertation in two chosen sequences of SBQ steel grades (Special Bar Quality). Steel grade 30MnVS6 was chosen as a typical SBQ steel grade where Al_2O_3 inclusions are modified by CaCN_2 , and steel grade C35RKL was chosen as a typical SBQ steel grade where Al_2O_3 inclusions are modified by CaSi . The influence of the chosen parameters of the steel on the nozzle clogging stage during continuous casting is evaluated at the end of experimental part of dissertation by using methods of mathematical statistic.

Results of the dissertation were among others a part of successfully resolved grant project GA ČR reg. No. 106/04/0029 entitled “*Control of properties of liquid steel before its continuous casting aimed at minimization of defects of continuously cast steel*” under financial support of the GAČR.

ÚVOD

Předkládaná disertační práce je zaměřena na základní poznatky z oblasti modifikace nekovových vměstků v plynule odlévaných předlitcích. Hlavním tématem práce je problematika modifikace korundových vměstků typu Al_2O_3 vápníkem za vzniku tekutých globulárních hlinitanů vápenatých a s tím spojená problematika zamezení zarůstání ponorných výlevek mezipánve při plynulém odlévání SBQ ocelí.

Součástí disertační práce je rovněž vymezení hlavních cílů disertační práce a stanovení metodiky provedených experimentů. Pro experimentální tavby byly vybrány 2 typické jakosti SBQ ocelí. V rámci experimentu byly odebírány vzorky oceli a sledována modifikace korundových vměstků pomocí různých forem vápníku. Ve druhé části experimentální části byl hodnocen vliv vybraných parametrů oceli na stupeň zarůstání výlevek při plynulém odlévání SBQ ocelí využitím metod matematické statistiky.

Práce byly řešeny v rámci grantového projektu GAČR reg. č. 106/04/0029 s názvem „*Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním s cílem minimalizovat vady předlitku*“.

1 METALOGRAFICKÁ ČISTOTA

Zvyšující se nároky na jakost výrobku jsou celosvětovým trendem a jsou logickým dopadem konkurenčního soupeření výrobců v boji o zákazníka. Výjimkou není pochopitelně ani ocelářský průmysl, kde se klade hlavní důraz zejména na zvyšující mikročistotu oceli. Jakékoliv defekty v oceli vedou ke snížení kvality výrobku a tím také ke snížení zisku.

Vlastnosti oceli nejsou určovány jen vlastnostmi jednotlivých kovových složek, ale i přítomností nekovových vměstků. Jejich vznik je dán jednak snižováním se rozpustností prvků v kovu a současně i obvykle klesající hodnotě Gibbsovy energie v průběhu chladnutí, tuhnutí a krystalizace oceli. Některé nekovové vměstky působí v oceli škodlivě, jiné mají značný význam při výrobě jakostních ocelí s velmi dobrými mechanickými i technologickými vlastnostmi. Nekovové vměstky jsou často příčinou úkazu, že se u ocelí se stejným chemickým složením, se stejným způsobem výroby a dalšího zpracování, jakož i se stejnou strukturou setkáváme s rozdílnými mechanickými a technologickými vlastnostmi. Vliv nekovových vměstků na jakost oceli je dán nejen jejich celkovým množstvím, ale i jejich složením, tvarem, velikostí a způsobem uspořádání. Důležitost a význam studia nekovových vměstků v oceli zdůrazňuje okolnost, že i u nejčistší oceli může v 1 cm^3 být $10^4 - 10^5$ submikroskopických nekovových vměstků. [1]

V ocelích se vyskytují nekovové vměstky převážně ve formě oxidů, sulfidů, méně již ve formě nitridů a karbidů, často však ve formě komplexních vměstků (např. oxysulfidů, karbonitridů, silikátů nebo hlinitanů atd.). Velkou většinu tvoří vměstky endogenní, vznikající jako důsledek chemických reakcí, malý podíl tvoří vměstky exogenní, které jsou do oceli zanášeny převážně při erozi žáromateriálu.

Protože působení vměstků na technologické i mechanické vlastnosti je většinou negativní, je nutné jejich obsah v oceli minimalizovat. Toho lze dosáhnout jednak omezením možnosti jejich vzniku a jednak jejich modifikací na přijatelnější komplexní formy nebo vytvořením podmínek pro jejich lepší vyplouvání z lázně a jejich následné pohlcení struskou.

Předložená disertační práce je zaměřena na zkoumání podmínek nukleace, modifikace a morfologie tvaru a velikosti vměstků Al_2O_3 , které způsobují zalepování ponorných výlevek mezipánve ZPO.

2 Nekovové vměstky

Nekovové vměstky jsou drobné submikroskopické, mikroskopické a makroskopické částice nekovového charakteru, které se vyskytují při výrobě oceli. Vznikají v průběhu fyzikálně – chemických reakcí při výrobě oceli nebo jsou do oceli zanášeny. Vzniklé vměstky mají většinou nepříznivý vliv na celou řadu vlastností oceli. Nemůžeme je z oceli zcela odstranit, snažíme se je proto co nejvíce eliminovat a poznávat zákonitosti jejich vzniku. [2]

2.1 Rozdělení vměstků

Nekovové vměstky v oceli můžeme rozdělovat podle několika kritérií. [2]

Podle původu vzniku:

- exogenní vměstky – jsou do oceli zanášeny zvenčí (erozní působení),
- endogenní vměstky – jsou produktem fyzikálně – chemických reakcí při výrobě oceli (dezoxidace, odsíření, krystalizace).

Podle chemického složení:

- jednoduché sloučeniny (oxidy, sulfidy, nitridy, karbidy),
- složitější vměstky komplexního charakteru (oxysulfidy, silikáty, alumináty, karbosulfidy, karbonitridy).

Podle tvaru:

- hranaté,
- globulární,
- dendritické.

Podle homogeneity:

- homogenní (vměstky mají stejné složení),
- heterogenní (vměstky mají různé složení).

Podle uspořádání:

- uspořádané,
- neuspořádané (rozmístěné ve shlucích nebo v řádcích).

Podle teploty:

- primární (vznikají nad teplotou likvidu v oblasti ocelářských teplot),

-
- sekundární (vznikají těsně nad teplotou likvidu),
 - terciální (vznikají v oblasti mezi likvidem a solidem),
 - precipitační (vznikají pod teplotou solidu).

Podle tvařitelnosti:

- tvařitelné,
- netvařitelné,
- částečně tvařitelné.

2.1.1 Exogenní vměstky

Jsou výsledkem korozivního a erozivního působení roztaveného kovu na vyzdívku pece, pánví, licích kanálů. Svým složením odpovídají používaným keramickým materiálům. Většinou jde o složité křemičitany. Mezi exogenními vměstky mohou být i stržené částice strusky. V průměru tvoří exogenní vměstky 15 % podílů všech vměstků. Zábava vzniku exogenních vměstků spočívá v pečlivé údržbě keramických materiálů, pecí, pánví, licích kanálů, kokil, forem i opatřeními v průběhu tavby i odlévání kovu. [3]

Podíl nekovových exogenních vměstků, vznikajících erozí a korozí vyzdívky nístěje, odpichového žlabu a licích keramických kanálků činí 5 – 10 %, zatím co erozí a korozí pánvových kamenů, výlevků a zátkových tyčí dosahu vzniká 0,5 – 4 % z celkového obsahu vměstků v oceli. [4]

2.1.2 Endogenní vměstky

Endogenní nekovové vměstky vznikají v roztavené nebo tuhnoucí oceli vyloučením oxidů, sulfidů, oxysulfidů, nitridů a jiných nekovových sloučenin následkem fyzikálně-chemických reakcí, probíhajících v oceli nebo vyloučením těchto sloučenin při změně teploty oceli, byla-li mez jejich rozpustnosti v oceli překročena. U endogenních nekovových vměstků připadá největší podíl na oxidické a sulfidické vměstky. [4]

2.2 Sulfidické vměstky

Sulfidické vměstky vznikají zpravidla až při ochlazování a tunutí oceli. Způsob vyloučení těchto vměstků je ovlivněn zejména obsahem kyslíku v roztavené oceli a druhem použitého dezoxidovadla, dále obsahem uhlíku a dalších prvků. [2]

2.2.1 Morfologie sulfidických vměstků

Morfologie sulfidů v oceli je dána především druhem a zbytkovým množstvím použitého dezoxidovadla. [2]

Jejich přehled je uveden na **obr. 1**.

Obsah Al < 0,005 %

Vznikají komplexní kulovité oxysulfidické vměstky, na jejichž složení se kromě hliníku podílí také kyslík, síra, mangan a křemík. Tyto vměstky I. typu působí pozitivně na mechanické vlastnosti oceli a rovněž jsou značně odolné proti deformaci při tváření.

Obsah 0,005 % < Al < 0,02 %

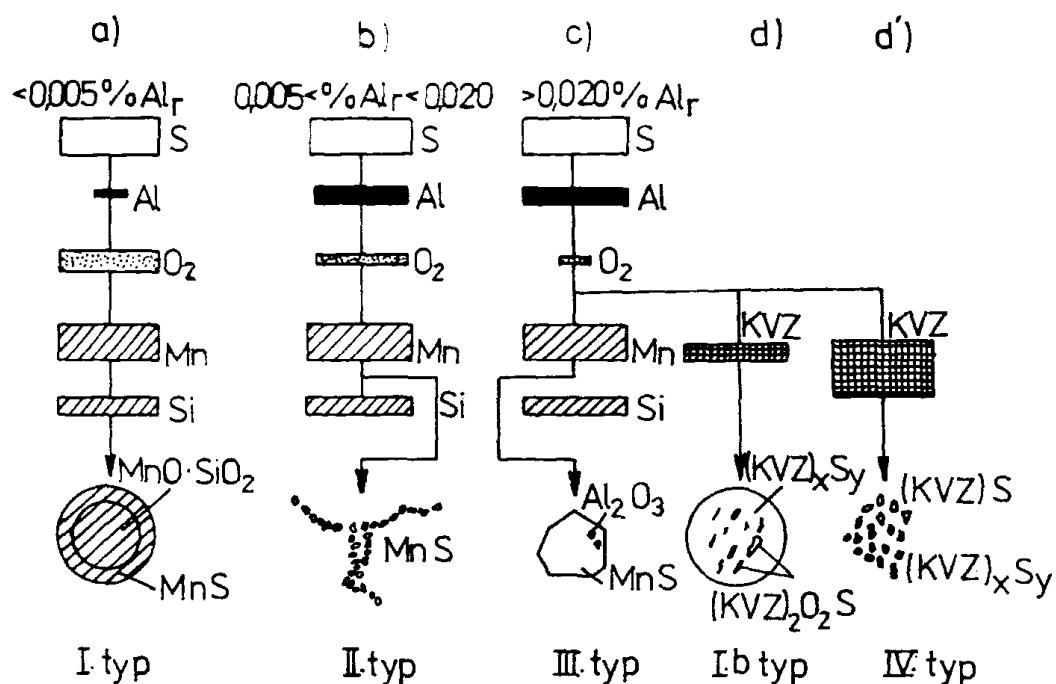
Síra se vylučuje až z posledních zbytků matečné taveniny v podobě (Fe, Mn)S. Na chemickém složení sulfidů se podílí pouze mangan a síra. Drobné vměstky MnS tvoří ostrůvky až řetízky na hranicích primárních zrn – tzv. II. typ vměstků, který s porovnáním s I. typem zhoršuje mechanické vlastnosti. Nepříznivý vliv těchto vměstků se ještě stupňuje při tváření za tepla v oblasti doválcovacích teplot, neboť MnS je vysoce tvařitelný.

Obsah Al > 0,02 %

Sulfidová fáze se vylučuje v podobě sulfidů hranatých tvarů. Tyto hranaté vměstky, tzv. III. typu, nejsou zpravidla homogenní, ale obsahují jeden nebo více krystalků Al_2O_3 či jiných oxidů. Vměstky III. typu nezhoršují mechanické vlastnosti, i když zpravidla nedosahují hodnot získaných v přítomnosti I. typu vměstků.

Použijeme-li ke konečné dezoxidaci (kromě hliníku) také vápník či KVZ (kovy vzácných zemin), přeměňují se hranaté vměstky III. typu na kulovité vměstky I.b typu.

Při nadměrném množství vápníku či KVZ se sulfidická fáze vylučuje v podobě drobných komplexních sulfidů IV. typu, které se vyskytují ve shlucích a působí opět nepříznivě na mechanické vlastnosti oceli. [5]



Obr. 1: Vliv zbytkového obsahu hliníku rozpustného v oceli na morfologii sulfidických vměstků

2.2.2 Typy sulfidických vměstků

V průběhu tuhnutí se síra slučuje převážně s manganem a vytváří vměstky zejména typu MnS, resp. MnS.FeS. Tyto vměstky se vylučují po hranicích zrn a vznikají tak nízkotavitelná eutektika. Síra se z oceli odstraňuje pomocí CaO v procesu odsíření. Pokud je ocel modifikována vápníkem, mohou se vytvářet komplexní vměstky tvořené oxidickým jádrem a na povrchu vyloučeným sulfidem CaS.

Pokud je obsah síry v oceli vysoký, může docházet k reakci vápníku se sírou za vytváření tuhého vměstku CaS, který může následně ucpat ponorné výlevky. [6]

2.2.3 Tvar sulfidických vměstků

Jestliže se sloučeniny síry vylučují jako tuhá fáze, vznikají hranaté vměstky, které mají malý vliv na houževnatost oceli. Za přítomnosti hliníku a vápníku mohou vznikat v oceli oxidické vměstky s teplotou tavení nižší, než je aktuální teplota oceli, které jsou tekuté a tudíž globulární. Existují-li současně podmínky pro vznik sulfidů, dochází k jejich vylučování na povrchu těchto oxidických vměstků a tudíž s nimi mohou z oceli vyplouvat. Protože síra však má nižší afinitu k prvkům přítomným v oceli než kyslík, dochází často ke vzniku sulfidů až po obohacení taveniny v mezidendritických dutinách sírou při chladnutí oceli. Pak vznikají v průběhu tuhnutí oceli sulfidické vměstky usměrněné do těchto mezidendritických prostor. Tyto vměstky výrazně snižují houževnatost oceli. [7]

Tudíž v ocelích, neupravovaných vápníkem, síra precipituje jako jemně rozptýlené částice MnS v mezidendritické tekuté fázi, kde nakonec ztuhne. Během válcování za tepla jsou částice MnS deformovány, což vede ke vzniku žilek ve válcovaných produktech. U ocelí s nízkým obsahem síry upravovaných vápníkem jsou během tuhnutí potlačeny hranice vysrážených zrn MnS. K vysrážení síry dochází ve formě komplexu Ca(Mn)S zachyceného na povrchu vměstku hlinitanu vápenatého.

Možnost ovlivňování tvaru sulfidu, během tuhnutí oceli upravované vápníkem, závisí na celkovém obsahu kyslíku, síry a vápníku v oceli. [8]

2.3 Oxidické vměstky

Oxidické vměstky vznikají během všech údobí tavby a odlévání oceli, přičemž největší množství vměstků v tekuté oceli má svůj původ v dezoxidaci. Přednostně se tvoří oxidy těch dezoxidačních prvků, které v daných podmínkách mají nejsilnější dezoxidační schopnost.

Na vlastnosti oceli nejvíce působí vměstky sekundární a terciární, poněvadž nemají dostatek času k separaci. [2]

2.3.1 Morfologie oxidických vměstků

Morfologie oxidických vměstků je dána druhem a zbytkovým množstvím použitého dezoxidovadla. Jedním z nejpoužívanějších dezoxidovadel je hliník. [2] Jejich přehled je uveden na **obr. 2**.

Obsah Al < 0,01 %

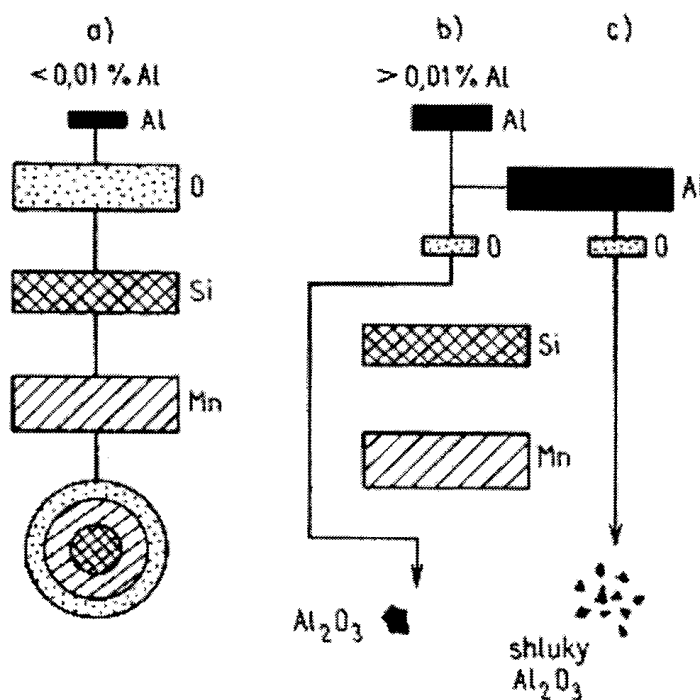
Vzniklé vměstky se vylučují v kapalném stavu a vyloučené komplexní globulární částice se obvykle během tuhnutí, popřípadě při ochlazování po tuhnutí, rozpadají na několik fází za vzniku charakteristických struktur. Jsou to oxidy typu $n\text{MnO} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot p\text{Al}_2\text{O}_3$.

Obsah Al > 0,01 %

Při tomto obsahu hliníku již nevznikají globulární, v oceli rovnoměrně rozmístěné komplexní vměstky, ale jednotlivé drobné krystalky Al_2O_3 dendritického charakteru.

Obsah Al >> 0,01 %

Při těchto nadměrných obsazích hliníku se krystalky Al_2O_3 vylučují ve shlucích. [5]



Obr. 2: Vliv zbytkového obsahu hliníku rozpustného v oceli na morfologii oxidických vměstků

2.3.2 Typy oxidických vměstků

Oxidické vměstky které se mohou vyskytovat v nelegovaných (uhlíkových) ocelích, lze podle jejich chemického složení rozdělit na:

- chemické sloučeniny ternární soustavy $\text{FeO} - \text{MnO} - \text{SiO}_2$, které vznikají v kovovém roztoku soustavy $\text{Fe} - \text{Mn} - \text{Si} - \text{O} - \text{C}$.
- chemické sloučeniny pseudoternárního systému $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{O} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$, jejichž výskyt je podmíněn přítomností hliníku v soustavě $\text{Fe} - \text{Mn} - \text{Si} - \text{O} - \text{C}$.

U ocelí dezoxidovaných a modifikovaných vápníkem, titanem, vanadem, zirkoniem a KVZ se budou oxidické vměstky tvořit ve formě oxidů příslušných prvků. [9]

2.4 Nitridy, karbidy a komplexní vměstky

Nitridy s kyslíkem netvoří na rozdíl od sulfidických vměstků směsné roztoky a vylučují se z kovové matrice. Tyto vměstky mají vysokou mikrotvrdost a při tváření se nedeformují.

Prvky s vysokou afinitou k dusíku (Zr, Ti) zjemňují strukturu oceli, snižují možnost vzniku kamenitého lomu a omezují výskyt trhlin.

Karbidy mají obecně nižší termodynamickou stabilitu než oxidy, sulfidy či nitridy. Pochod tvorby karbidů přímo závisí na obsahu uhlíku v oceli. Karbonitridy a karbosulfidy mají vysokou tvrdost a při tváření se nemění jejich ostrohranný tvar. Svým nepříznivým tvarem jsou koncentrátory napětí a mohou být zdrojem mikrotrhlin. [5]

3 ZARŮSTÁNÍ VÝLEVEK MEZIPÁNEV ZPO

Plynulé odlévání zůstává i za současné vysoké technické úrovně kritickým místem spolehlivosti ve výrobním toku. Z provozního hlediska jsou to především otázky spojené s nízkým stupněm přehřátí nad likvidem, reoxidace oceli v prostoru pánve – mezipánve a také zatahování ponorných výlevek. [10]

V průběhu odlévání oceli uklidněných hliníkem se často snižuje jejich průtok výlevkou pánve, což vytváří závažné provozní problémy. Zarůstání výlevek zplodinami dezoxidace (zejména nekovovými vměstkami Al_2O_3 a CaS) spočívá v nalepování vměstků na stěny výlevek. Na nalepování vměstků má vliv:

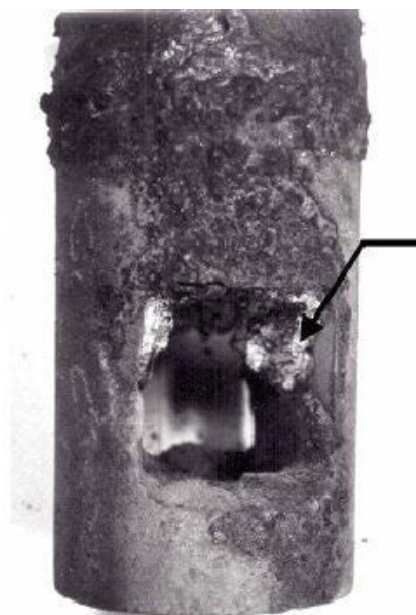
- **rychlost proudění taveniny a charakter proudění** – bezprostředně u stěny výlevky se tekutá ocel pohybuje velmi malou rychlostí (laminární proudění) a se zvětšující se vzdáleností od stěny se postupně mění charakter proudění v turbulentní. Nekovové vměstky – částice, které se nalézají nejbližší povrchu stěny výlevky, mají malou snahu se „pohybovat“ a „připojují“ se k povrchu keramického materiálu výlevky. Další částice se spojují již s ulpěnými částicemi.
- **přítomnost vířivých proudů** – tyto proudy se nacházejí v přechodovém pásmu turbulentní okrajové vrstvy. Částice, které jsou těmito vířivými proudy „vrženy“ proti žárovzdornému materiálu výlevky, se srážejí s částicemi již zachycenými a ulpívají na nich.
- **viskozita kovu** – viskozita narůstá v oblastech se zvýšeným obsahem vměstků. Objemy taveniny o vyšší viskozitě mají tendenci soustřeďovat se u stěn výlevek, zatímco oblasti s vyšší mikročistotou a nižší viskozitou ve středních částech výlevek.

Nejjednodušším způsobem jak „nalepování“ částic zabránit, je modifikace vměstků Al_2O_3 vápníkem na hlinitany vápenaté, pro snížení jejich teploty tavení. [11], [12]

Příklad nánosů na stěnách výlevky je znázorněn na **obr. 3 a 4**.



Obr. 3: Zanesená výlevka ZPO – zespod



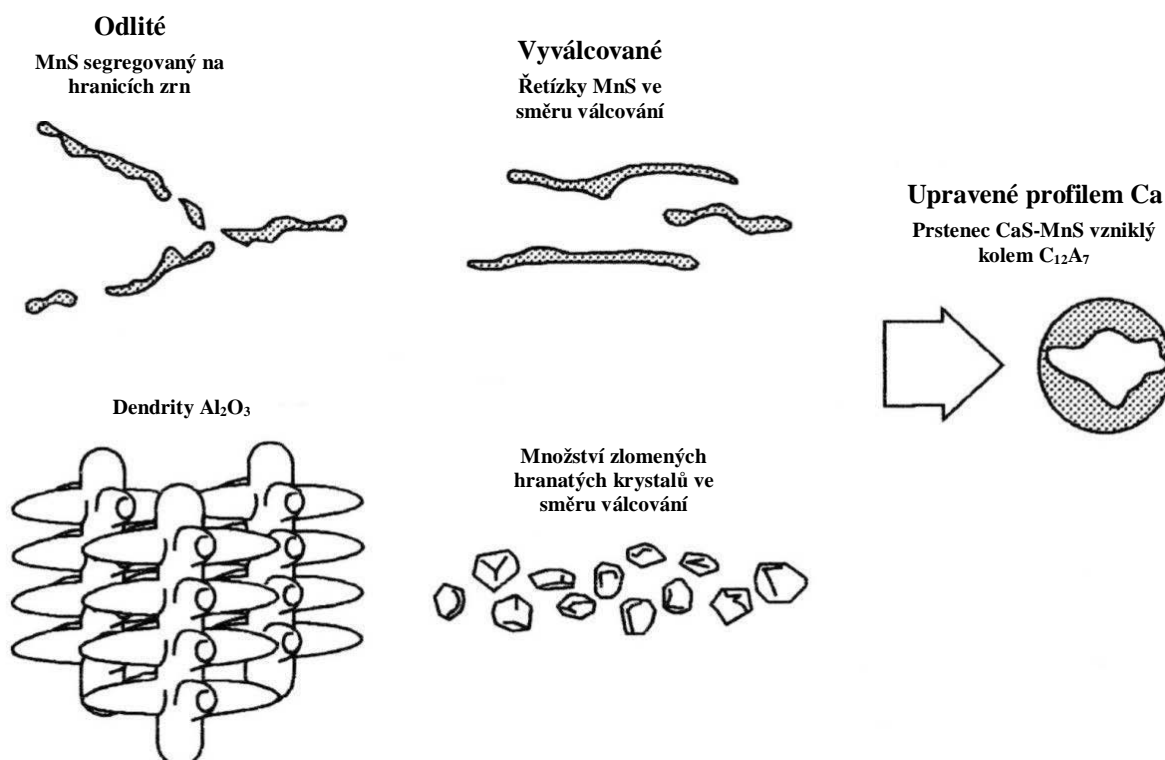
Obr. 4: Zanesená výlevka ZPO –

4. MODIFIKACE NEKOVOVÝCH VMĚSTKŮ

Výroba ocelí s vyšším obsahem síry sebou přináší celou řadu technologických problémů, které jejich výrobu komplikují a prodražují. Rostoucí požadavky na kvalitu oceli a snižování výrobních nákladů vedou ke snaze těmto komplikacím předcházet. Mezi největší komplikace patří výskyt škodlivých nekovových vměstků v těchto ocelích a nimi spojený problém se zarůstáním výlevek mezipánve při jejich plynulém odlévání. To je způsobeno nalepováním těchto nekovových vměstků na stěnu vylévky. Mezi nejškodlivější vměstky patří v tomto směru zejména vměstky typu Al_2O_3 a CaS . Z tohoto důvodu je třeba Al_2O_3 vměstky modifikovat. Modifikací nekovových vměstků se nazývá řízená změna fyzikálních a chemických vlastností nekovových vměstků s cílem dosažení rozdílného, snadněji odstranitelného typu vměstku. Vměstky Al_2O_3 modifikujeme na tekuté hlinítiny vápenaté a současně se snažíme zabránit vzniku vměstků CaS v tekuté oceli. Jako modifikátor se používá zejména vápník.

Výsledkem úpravy vápníkem je, že vměstky na bázi Al_2O_3 a SiO_2 jsou přeměněny na tekuté hlinítiny vápenaté nebo křemičitany vápenaté. Kvůli účinku povrchového napětí jsou tyto tekuté vměstky globulárního tvaru. Tato změna ve složení a tvaru vměstku je obecně známá jako řízená morfologie nebo modifikace vměstku. Efekt úpravy vápníkem na morfologii vměstku je schématicky znázorněn na obr. 5. [13]

Na **obr.5** je vidět, že po válcování oceli, která byla úspěšně upravená vápníkem, nebyla očekávána přítomnost žádných nebo jen velmi malého počtu řetízků sulfidů. Tento jev je znám jako řízení tvaru sulfidu úpravou vápníkem. [13]



Obr. 5: Efekt úpravy vápníkem na morfologii vměstků

4.1 Vápník

Úprava oceli vápníkem je zavedenou metodou k transformaci oxidických a sulfidických vměstků v oceli na jiné typy vměstků, které mají méně škodlivé vlivy na vlastnosti oceli. Transformace tuhých vměstků Al_2O_3 na tekuté hlinitany vápenaté vápníkem je proces používaný k vyhnutí se zatahování výlevek při plynulém odlévání hliníkem dezoxidovaných ocelí. Přidávání vápníku je rovněž klíčová metoda ke zlepšení obrobitelnosti, která může být dále zlepšena pomocí zvýšeného obsahu síry. Nicméně nasířené oceli mají sklon zatahovat ponorné výlevky mezipánve z důvodu nedostatečné modifikace oxidů nebo vzniku tuhých CaS vměstků. [14]

V moderní výrobě železa a oceli se při mnoha pánvových procesech úpravy používá reaktivního prvku vápníku, buďto samostatně, nebo ve formě slitiny či směsi. Přísady založené na vápníku (čistý vápník, karbid vápníku, CaSi , CaFe) jsou běžně používány v procesech odsíření surového železa či k odsíření tekuté oceli. [15]

Přísady na bázi vápníku jsou dávány do oceli nejen z důvodu dezoxidace nebo odsíření, ale také pro kontrolu složení a morfologie vměstků. Hlavním cílem moderních procesů pánvové metalurgie je snížit podílový zlomek vměstků kvůli nižším obsahům kyslíku a síry a kontrolovat složení těch zbývajících tak, aby měly nejmenší škodlivý efekt během odlévání, mechanického opracování. [16]

Vápník je v oceli téměř nerozpustný a na rozdíl od ostatních prvků nemá vedlejší účinky na základní kovovou matici. Vyznačuje se velkou afinitou ke kyslíku a síře. Při vyšším obsahu se vápník bude vázat na síru za vzniku vměstků CaS , který rovněž způsobuje zarůstání výlevek. Vápník rovněž umožňuje lepší vyplouvání vměstků. Bývá součástí polykomponentních vměstků, zejména oxidů a spolu s křemíkem a hliníkem, [17] modifikuje původní shluky hlinitanových vměstků na globulární komplexní hlinitovápenné vměstky, které jsou při teplotách tavení oceli v tekutém stavu a tím přispívá v oblasti prevence zatahování výlevek tuhými vměstky na zařízení pro plynulé odlévání. [18]

Bod varu vápníku je 1491°C , to znamená, že za ocelářských teplot se vápník nachází jako plyn. Při přidávání vápníku do tekuté oceli proto musí být provedeny opatření k zabezpečení minimálního propalu. Snahou je injektovat jej do lázně do největší možné hloubky a využít rostoucího ferostatického tlaku k zabránění odpařování vápníku.

Vápník má také některé vlastnosti, které jeho použití pro modifikaci vměstků v oceli komplikují. Je to v první řadě:

- nízký bod varu,
- vysoká nestálost na vzduchu,
- vysoká chemická reaktivita.

Prvky jako uhlík, křemík, mangan, nikl a hliník přispívají ke zvýšení rozpustnosti vápníku v tekutém železe. Rozpuštěný vápník v tekuté oceli reaguje v oceli nejen s oxidy a sulfidy vzniklými rafinačními procesy, ale také s nečistotami, které jsou přítomny v oceli v průběhu procesu, např. v důsledku eroze žáromateriálu pánve. To komplikuje proces modifikace vměstků a proces změny jejich morfologie. [19]

Vápník se injektuje nejčastěji ve formě slitiny CaSi, směsi CaFe, ale i v čisté formě. Injektáž se provádí pomocí plněných profilů. Nejčastěji vstřelováním plněného profilu nebo pomocí SL trysky. [13]

Výhody přidávání vápníku:

- zlepšení odlévatelnosti během plynulého odlévání,
- minimalizace povrchových vad,
- zlepšení obrobiteľnosti při vysokořezných rychlostech,
- prevence lamelárního trhání,
- minimalizace citlivosti vysoce pevných mikrolegovaných (HSLA) trubek k vodíkem způsobenému praskání (HIC), např. ocel pro kyselé plyny nebo olejové trubky
- zlepšení mechanických vlastností po průřezu. [17]

4.2 Hliník

Hliník se vyznačuje nejen vysokou afinitou ke kyslíku, ale rovněž k dusíku. Používá se pro zjemnění zrna, jako legovacího prvku pouze výjimečně. Je poměrně dostupný a je nejpoužívanějším dezoxidačním prvkem. Jako každé silné dezoxidovadlo je nutno i jej přisadit v optimálním množství, mnohem nižším než u dezoxidovadel slabších.

Zplodinou je amfoterní oxid hlinitý, který v lité oceli vytváří shluky a v němž je oxid železnatý téměř nerozpustný. Pokud vzniká za rovnovážných podmínek produkt dezoxidace typu $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (hercynit), pak jen tehdy, je-li obsah hliníku v kovu nepatrný. [17]

Reakci probíhající při vyšší přísadě hliníku do lázně popisujeme rovnicí:



Produktem dezoxidace jsou drobné krystalky Al_2O_3 , které se vyskytují ve shlucích a nepříznivě působí na vlastnosti oceli (obrobiteľnost, tvařiteľnost). Rovněž velmi obtížně z oceli vyplouvají.

Hlavní nevýhodou těchto vměstků je, že při odlévání oceli jsou příčinou zarůstání výlevek. Postupně se na výlevky vlivem turbulentního proudění nalepují, a zabráňují tak proudění oceli z pánve. Proto tyto vměstky modifikujeme vápníkem. Přísadou vápníku lze zabránit vytváření jednoduchých vměstků Al_2O_3 tak, že měníme jejich chemické složení a teplotu tání po přidavku vápníku tak vznikne tekutý globulární vměstek, který lépe vyplouvá z oceli.

4.3 Síra

Síra je většinou v oceli nežádoucím prvkem. Snižuje pevnost oceli při teplotách pod solidem. Těsně pod solidem existuje pásmo teplot, ve kterém má ocel zanedbatelnou hodnotu pevnosti. Síra toto pásmo rozšiřuje. [7]

Je prvkem silně povrchově aktivním, zvláště v tekutém kovu. Se snižující se teplotou její rozpustnost v oceli klesá → síra se bude vázat na prvky s nejvyšší afinitou k síře (např. na Ca, Mn za vzniku sulfidů CaS, MnS) a pokud tam nebudou, tak na Fe (za vzniku sulfidu FeS). [11]

Jako silně povrchově aktivní prvek, snižuje možnost přechodu dusíku a vodíku k povrchu kovu a jejich adsorpci. [20] Síra způsobuje lámavost za červeného žáru. [19] Jako legující prvek slouží ke zlepšení obrobitelnosti oceli. Tento vyráběný druh oceli je nazýván jako SBQ (Special Bar Quality). Je založen na řízeném obsahu síry v rozmezí $0,020 \div 0,050$ %. [7]

Zdrojem síry při výrobě oceli je vsázka. V souvislosti s pokrokem v metalurgii v posledních 20-ti letech nebývá v ocelovém odpadu více než 0,030 % S. [11]

Limitované obsahy síry:

- běžné oceli tříd: 10 – 12: 0,02 – 0,015 % S,
- nízko, středně legované oceli: pod 0,01 % S,
- dlouhodobě namáhané oceli: pod 0,001 % S.

4.4 Vliv vybraných prvků na vlastnosti a jakost oceli

V následujících kapitolách jsou uvedeny vlivy vápníku, hliníku a síry, jakožto hlavních stavebních prvků sledovaných nekovových vměstků, na vlastnosti a jakost oceli.

4.4.1 Modifikace vápníkem z hlediska morfologie vměstků

Modifikací sulfidů a oxidů v oceli se myslí změna jejich morfologie na snadněji odstranitelný typ vměstku. Modifikací vměstků se dosahuje zejména zvýšení houževnatosti oceli a plastických vlastností při zachování pevnostních charakteristik oceli. Vápník reaguje s oxidem hlinitým, který vznikl při předchozí dezoxidaci oceli hliníkem a snižuje teplotu tavení vměstků. Dále reaguje vápník se sírou, která se rozpouští ve vznikajících kalciumaluminátech. U čistých ocelí při vysokém obsahu vápníku vznikají vměstky typu CaO a CaS, které se vylučují jako IV. typ.

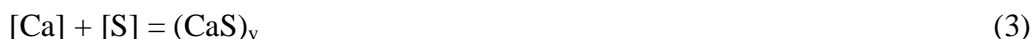
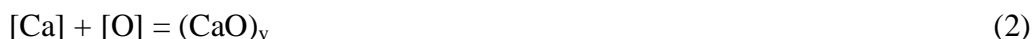
S rostoucím obsahem vápníku v oceli se zkracuje celková délka sulfidů II. typu. Při určité koncentraci vápníku v oceli, která závisí na chemickém složení oceli, se začnou objevovat oxysulfidy I.b typu, jejichž počet dále s rostoucím obsahem vápníku v oceli roste a při určitém obsahu vápníku v oceli se vměstky II. typu přestanou v oceli vyskytovat. S rostoucím obsahem vápníku v oceli se vměstky zmenšují, ubývá vměstků II. typu a přibývá vměstků Ib typu. Ve vměstcích klesá obsah manganu a hliníku na úkor vápníku. [7]

4.4.2 Vliv obsahu vápníku na vlastnosti oceli

Vápník v oceli je součástí vměstků na bázi oxidů a sulfidů a termodynamicky reaguje tak dlouho, pokud jsou síra nebo kyslík rozpuštěny v oceli na nízké úrovni nebo pokud jsou v oceli přítomny Al_2O_3 vměstky.

Z termodynamického hlediska bude vápník, díky vysoké vzájemné afinitě, reagovat s kyslíkem nebo sírou tak dlouho, dokud se koncentrace těchto reagujících složek (kyslíku a síry) nedosáhne nižší úrovně než 2 ppm. [6]

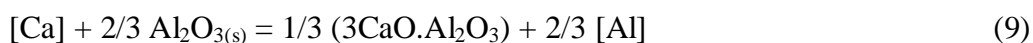
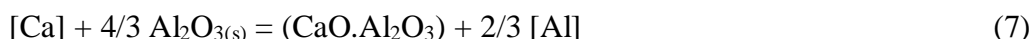
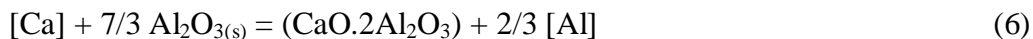
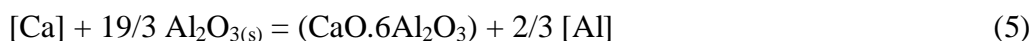
Vápník má vysokou afinitu k síře a ještě vyšší afinitu ke kyslíku. To znamená, že pokud je vápník rozpuštěn v tavenině, před tím, než reaguje se sírou, reaguje nejprve s volným rozpuštěným kyslíkem. [21]



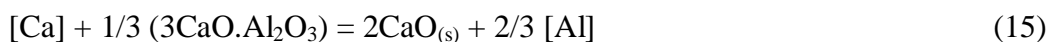
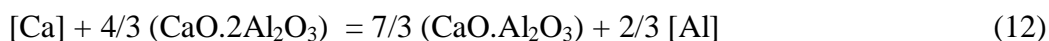
Vápník může vytvářet vměstky CaS nebo transformovat Al_2O_3 vměstky, a to v závislosti na obsazích hliníku a síry. [6]

Při dezoxidaci oceli hliníkem a následné modifikaci korundových vměstků vápníkem mohou probíhat v soustavě $\text{Fe}_{(\text{l})}$ - O - Al - Ca následující reakce. Nejprve v průběhu dezoxidace oceli hliníkem vznikají tuhé korundové vměstky $\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{s})}$ podle reakce (1).

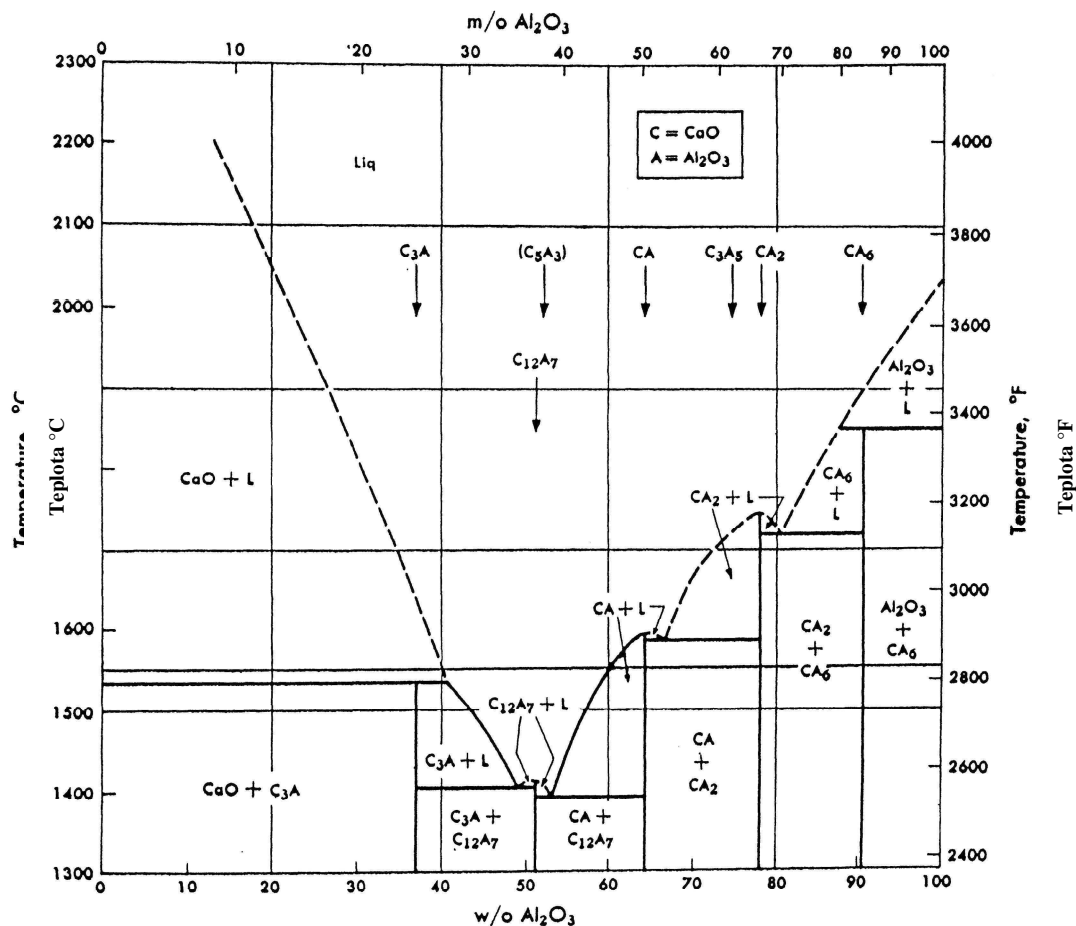
Při následné modifikaci těchto vměstků vápníkem mohou probíhat chemické reakce za vzniku tuhých či kapalných hlinitanů vápenatých. [22]



Modifikační působení vápníku se týká nejen korundových vměstků, ale i formujících se hlinitanů vápenatých.



Všechny možné formy existence dezoxidačních produktů od Al_2O_3 přes hlinitany vápenaté až po CaO jsou znázorněny na **obr. 6**.

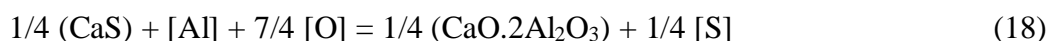


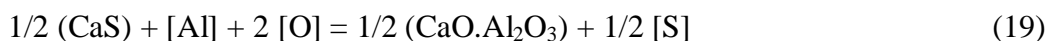
Obr. 6: Binární diagram $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$

4.4.3 Vliv obsahu hliníku, vápníku a síry na typ vznikajících vměstků

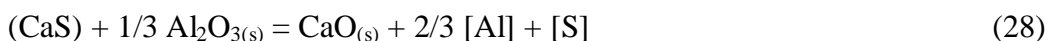
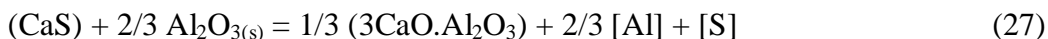
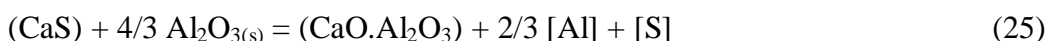
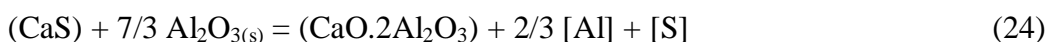
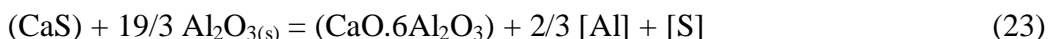
Vylučování pevných hlinitanů vápníku během lití je na jedné straně způsobeno nedostatečným přidavkem vápníku pro modifikaci, které vede pouze ke částečnému ztekucení hlinitanových vměstků, na druhé straně nadměrná dávka vápníku vyvolává tvorbu pevného sulfidu CaS . [19]

V přítomnosti síry se ustavují rovnováhy mezi $[\text{Al}]$, $[\text{O}]$ a $[\text{S}]$ v oceli a CaS respektive hlinitany vápníku ve vměstcích [22]





respektive s ohledem na reakci dezoxidace oceli hliníkem (1) získáme rovnice řešící rovnováhu mezi $[\text{Al}]$ a $[\text{S}]$ v oceli modifikované Ca:



Aby docházelo k tvorbě určitého typu hlinitanu vápenatého, musí být obsahy hliníku a síry menší, než hodnoty potřebné pro příslušnou rovnováhu v reakcích (23 - 27).

Fruehan [6] uvádí, že u ocelí s vysokým obsahem hliníku a síry vznikají převážně vměstky typu $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ nebo $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$.

S rostoucím obsahem síry v oceli roste stabilita CaS a tím dochází k zužování oblasti, ve které mohou vznikat tekuté vměstky. [23]

Čím vyšší je lící teplota, tím snadněji dochází k vytváření tekutých $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ vměstků a tím hůře se vytvářejí vměstky CaS . [6]

4.4.4 Vliv obsahu kyslíku na vlastnosti a jakost oceli

Všeobecný trend je nyní zaměřen na oceli, proto se používá jako měřítko čistoty celkový obsah kyslíku v tekuté oceli, který v dnešní době dosahuje hodnot max. 10 ppm.

Na druhé straně, u některých strojírenských ocelí může být žádoucí určité množství oxidických vměstků, pokud je zapotřebí vyšší obrobiteľnosti pro vysokorychlostní obrábění. Z tohoto důvodu, je u ocelí upravovaných vápníkem přípustný obsah kyslíku 10 – 20 ppm nebo vyšší. Obsah kyslíku přirozeně ovlivňuje množství potřebného vápníku pro přeměnu vměstků Al_2O_3 na hlinitany vápenaté. Při nižších obsazích kyslíku (10, 20 ppm) je dosaženo tekuté oblasti malým množstvím vápníku a oblast je velmi úzká. Pokud obsah kyslíku roste, roste i spotřeba vápníku a tekutá oblast se rozšiřuje a dává tak větší možnost vzniku tekutých vměstků. Ovšem na druhou stranu, se zvyšujícím se obsahem síry se horní hranice tekuté oblasti zužuje. Při praktické výrobě oceli může rozptýl obsahu kyslíku před úpravou vápníkem a obtížně předvídatelná reakce vápníku s Al_2O_3 , způsobit při vstřelování vápníku problémy. Čili, lze říci, že nízký obsah kyslíku, který je cílem výroby oceli a vysoký obsah síry

potlačují tekutou oblast a vedou k problémům s litím. Přidávání vápníku je nutno vztáhnout na celkový obsah kyslíku, který může být precizněji řízen, a to v oblasti:

- dezoxidace oceli,
- úpravy oceli v pánvi,
- zabránění reoxidace v různých stádiích procesu. [23]

Dále také s tím, jak se vměstky transformují z Al_2O_3 na vápníkem obohacené hlinitany vápenaté, aktivita Al_2O_3 klesá, což se současně projeví v klesající aktivitě kyslíku. [6]

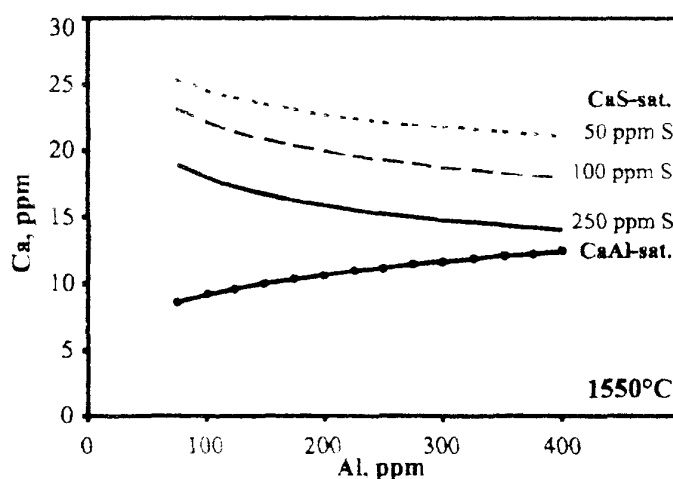
4.5 Tvorba tekutých vměstků typu $x\text{CaO} \cdot y\text{Al}_2\text{O}_3$

Interval koncentrací vápníku, který zajišťuje ztekucení vměstků Al_2O_3 je relativně úzký. Musíme se vyhnout nadbytku vápníku, protože jinak spolu se zbývajícím sírou v tavenině může tvořit CaS , který rovněž způsobuje zalepování výlevků. Akceptovatelné jsou hlinitany vápenaté s obsahem CaO od 35 do 64 hm. % („tekutá okna“ mezi křivkami nasycení na **obr. 7** a **8**), kdy je jejich teplota tavení podle diagramu $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ (**obr. 6**) nižší než 1600°C .

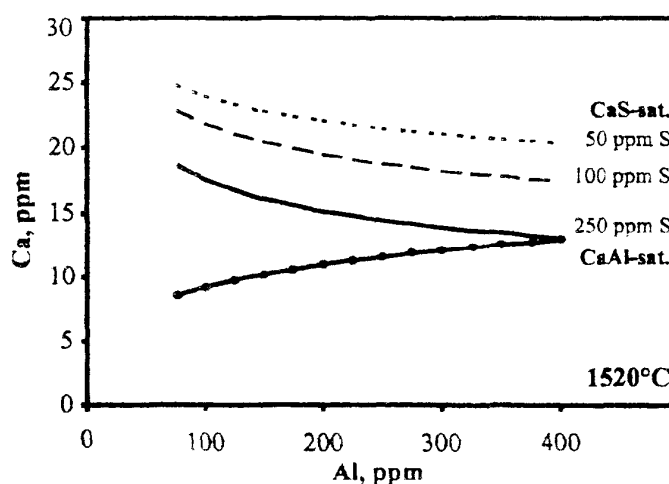
Ve studované práci Holappy a kol. [21] byly tato „tekutá okna“ stanoveny pro jakost oceli s analýzou: 0,35% C, 0,25% Si, 0,50% Mn. V prvních sériích výpočtů byl vybrán konstantní obsah kyslíku (20 ppm). Byly zkoumány 3 teploty: 1600°C , 1550°C a 1520°C . Zde uvádíme výsledky jen dvou z nich a to pro 1550°C a 1520°C , které se shodují s teplotami v pánvi a mezipánvi námi zkoumaných ocelí. Limity tekuté oblasti byly stanoveny při těchto teplotách pomocí výpočtů křivek nasycení hlinitanů vápenatých ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$) a CaS a naopak. K nalezení každého nasycení jako funkce obsahu hliníku byl nutný přírůstek vápníku počítán iterační metodou. Při nízkém obsahu hliníku vznikaly silikáty $\text{Ca}-\text{Al}$, uzavírající trojúhelníkové okno. Toto nasycení nebylo počítáno, nicméně, bylo nalezeno ve většině případů, při docela nízkých obsazích hliníku. Obsah síry byl vybrán jako konstanta.

Obr. 7. a 8. zřetelně ukazují, jak růst obsahu síry zvyšuje stabilitu CaS a tedy zúžení tekuté oblasti. Na druhou stranu, obsah síry má pouze okrajový vliv na vznik hlinitanů vápenatých a proto byly obrázky nakresleny pouze s jednou křivkou nasycení hlinitanu vápenatého (CaAl).

Výsledky při různých teplotách vypadají celkem podobně, ovšem tekutá oblast je větší při vyšších teplotách. Při 1600°C je dle Holappy [23] vznik CaS pravděpodobný pouze při relativně vysoké koncentraci vápníku a dosažení tekutého okna je snadné. Při 1550°C se okno stává užší a při nejvyšších obsazích hliníku a síry téměř zmizí. Nejnižší teplota, 1520°C , byla vybrána jako typická mezipánvová teplota pro tuto jakost oceli. Zde je okno zavřeno při 400 ppm Al - 250 ppm S. Pokud dále teplota klesá, tekutá oblast bude rychle mizet, protože nastává tuhnutí vměstků.



Obr. 7: Saturační (hraniční) čáry pro hlinitan vápenatý, sulfid vápenatý a „tekuté okno“ při různých obsazích S, při teplotě 1 550 °C

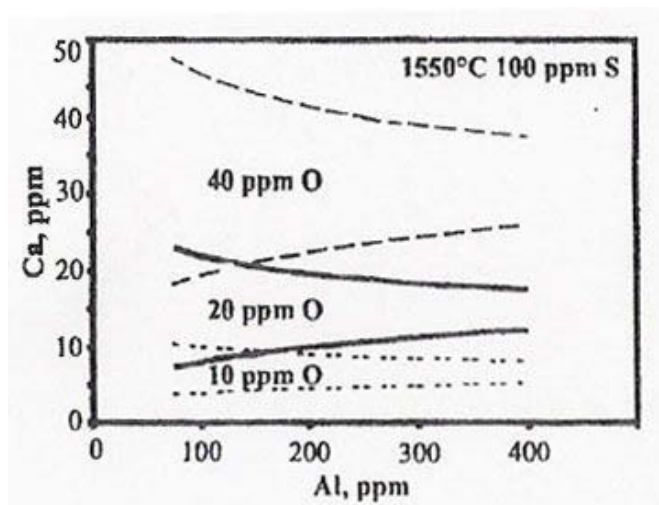


Obr. 8: Saturační (hraniční) čáry pro hlinitan vápenatý, sulfid vápenatý a „tekuté okno“ při různých obsazích S, při teplotě 1 520 °C

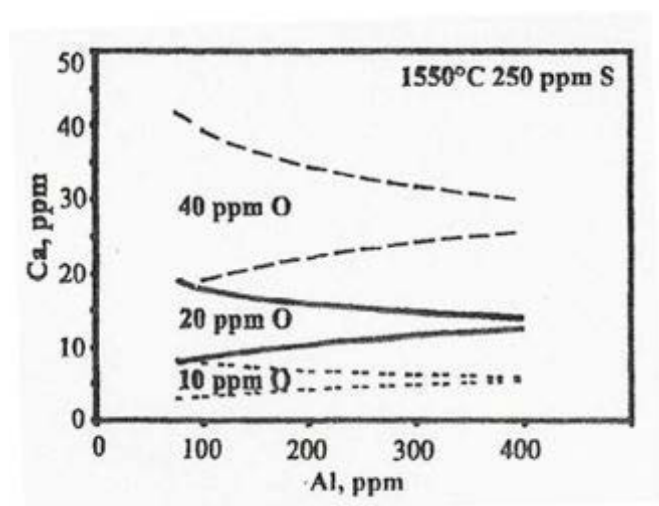
Obsah kyslíku ovlivňuje množství vápníku potřebného k převedení hlinitanů na hlinitany vápenaté.

V **obr. 9 a 10**, jsou znázorněny výsledky pro celkový obsah kyslíku 10, 20 a 40 ppm kombinované s úrovní síry 100 nebo 250 ppm. Při nízkém obsahu kyslíku je tekuté okno dosaženo s malým množstvím vápníku a okno je velice úzké. Pokud se obsah kyslíku zvýší, zvýší se přídavek vápníku a okno se rozšíří. Vliv síry může být vidět v místech křivek nasycení CaS, vysoký obsah síry tlačí křivku dolů, tedy dělá okno užším. [23]

V praktické výrobě oceli, rozptyl obsahu kyslíku před injektáží vápníku a těžce předpověditelný „výtěžek“ vápníku k reakci s Al_2O_3 , může způsobovat problémy při přesném dosažení poměru přidávaného vápníku.

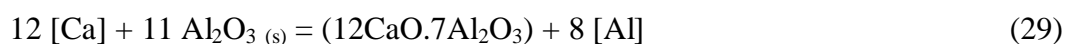


Obr. 9: Efekt celkového obsahu kyslíku (10, 20 a 40 ppm) na tekuté okno při 100 ppm síry



Obr. 10: Efekt celkového obsahu kyslíku (10, 20 a 40 ppm) na tekuté okno při 250 ppm síry

Preferovaný typ vzniklých nekovových vměstků je $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$, kde podíl CaO představuje 48,5 hm. %. Pokud je v oceli nízký obsah síry, je jejich vznik dán rovnicí:



Pokud je v oceli dostatek síry, a $([\text{Ca}] \cdot [\text{S}])_{\text{skut.}} > ([\text{Ca}] \cdot [\text{S}])_{\text{rovn.}}$ podle rovnice:

$$([\text{Ca}] \cdot [\text{S}])_{\text{rovn.}} = \overline{K_s} / f_{\text{Ca}} \cdot f_{\text{S}} \quad (30)$$

kde:

$$K_s = \frac{1}{K_s} = \frac{a_{(CaS)}}{([Ca] \cdot [S])_{rov.} \cdot f_{Ca} \cdot f_S} \quad (\text{za předpokladu, že } a_{(CaS)} = 1) \quad (31)$$

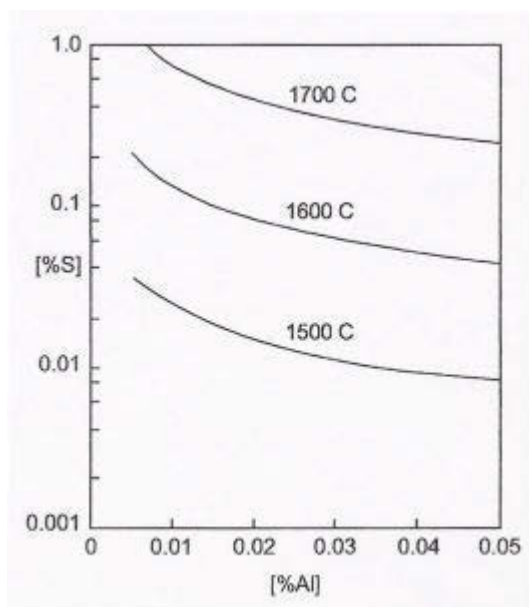
může docházet k reakci:



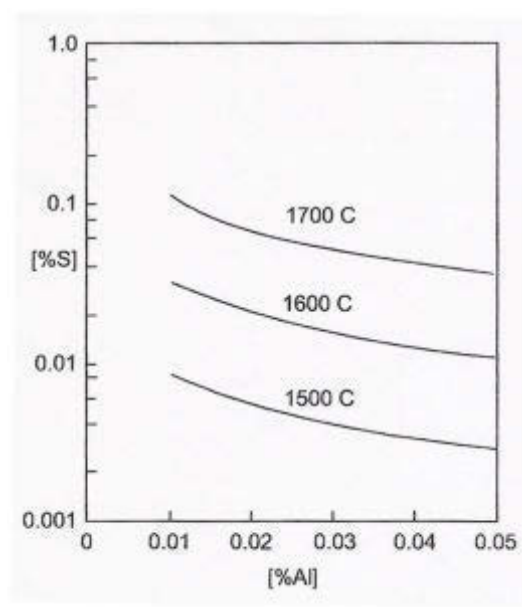
a výsledná rovnice pak má tvar:



Fruehan [12] ve své práci uvádí grafy vzniku tekutých hlinitanů vápenatých (konkrétně pak $12CaO \cdot 7Al_2O_3$). Výsledky jsou znázorněny na **obr. 11 a 12**, kde jsou zobrazeny kritické obsahy síry a hliníku pro vznik tekutého hliníkem nasyceného hlinitanu vápenatého $12CaO \cdot 7Al_2O_3$.



Obr. 11: Kritický obsah síry a hliníku pod kterým vznikají tekuté hliníkem nasycené hlinitany vápenaté



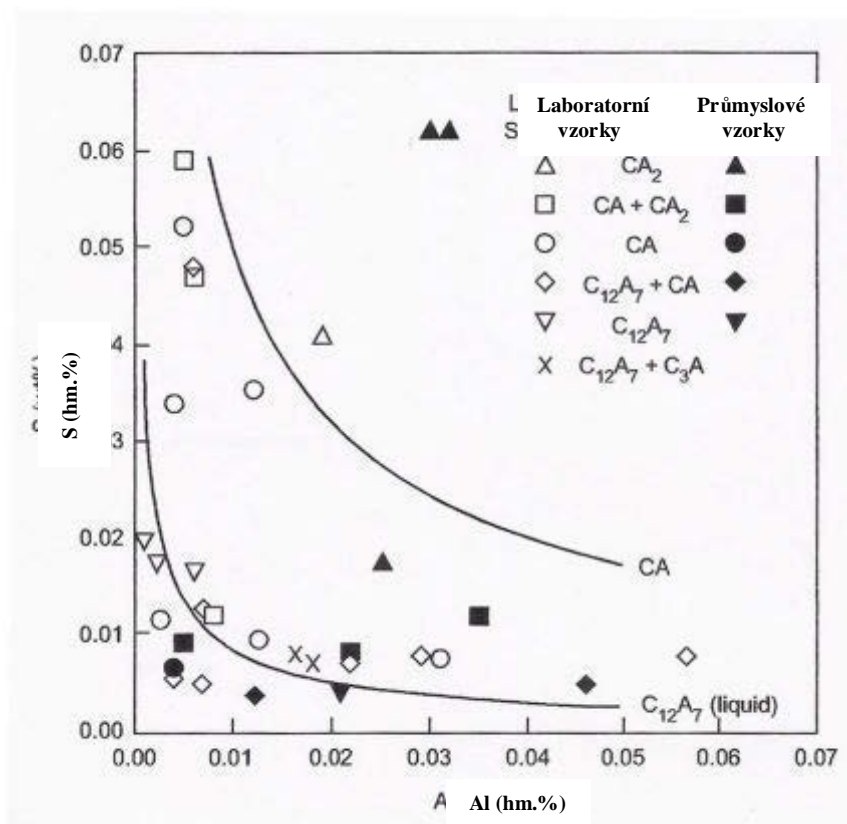
Obr. 12: Kritický obsah síry a hliníku pod kterým vznikají tekuté vměstky typu $12CaO \cdot 7 Al_2O_3$

Kdykoliv součiny obsahů hliníku a síry v oceli klesnou pod křivku pro danou teplotu, je podporován vznik tekutého hlinitanu vápenatého.

Předpokladem pro výpočet křivek na **obr. 11 a 12** je jednotková aktivita CaS. Výskyt manganu v mnoha ocelích způsobuje, že síra precipituje jako vápenato manganatý sulfid, Ca(Mn)S , ve kterém je aktivita vápenatého sulfidu menší než jednotková, proto se tedy snižuje kritický obsah síry pro vznik tekutého hlinitanu vápenatého. Kor [24] prokázal, že přítomnost manganu v oceli do 2% má pouze malý efekt na vznik CaS.

Larsen a Fruehan [25] studovali modifikaci oxidických vměstků vápníkem v mnoha vzorcích z laboratorních taveb stejně jako z ocelářských provozů.

Výsledky této studie jsou shrnuty v **obr. 13**, ze kterého lze vidět, že shoda s teoretickými předpoklady, vyjádřenými pomocí křivky označené CA a C_{12}A_7 je většinou dobrá.

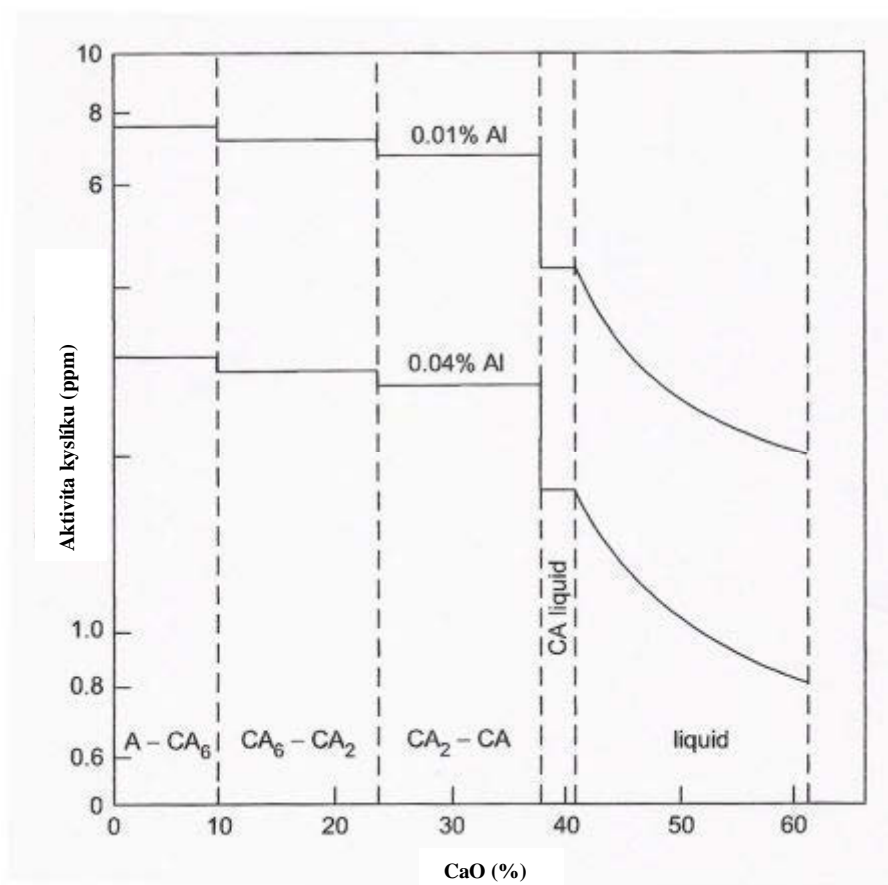


Obr. 13: Složení vměstků nalezených v laboratorních a provozních vzorků porovnané s teoretickou predikcí

Obvykle je těžké stanovit zda injektáž vápníku do oceli má za následek požadovaný stupeň modifikace vměstku. Larsen a Fruehan [25] zdůrazňují, že teoreticky může být stupeň modifikace vměstku stanoven měřením aktivity kyslíku v oceli pomocí kyslíkových senzorů. Obvykle je aktivita Al_2O_3 ve vápenato hlinitých vměstcích menší než jednotková. Aktivita kyslíku v oceli v rovnováze s hlinitanem vápenatým je tedy menší než v oceli v rovnováze s oxidem Al_2O_3 .

Za předpokladu, že obsah hliníku v oceli je v konstantní, aktivita kyslíku v oceli klesá, podle toho, jak jsou vměstky modifikovány z korundu Al_2O_3 na vápníkem obohacené hlinitany vápenaté. Toto je schématicky zobrazeno na **obr. 14**, ze kterého je

možno vidět, že klesající aktivita kyslíku (v ppm) je významná při kompletní modifikaci na tekutý hlinitan vápenatý. Měření kyslíkovými senzory před a po přidání vápníku tedy může v zásadě udávat, jak efektivní bylo přidání vápníku v době modifikace vměstku.



Obr. 14: Vypočtená aktivita kyslíku v oceli obsahující 0,01 a 0,04 % hliníku v rovnováze s indikovanými hlinitany vápenatými při 1600°C

Pro výpočet množství vápníku, které by mělo být přidáno do tavby by měly být uváženy následující informace:

- Obsah hliníku v oceli před modifikací
- Obsah síry a volného kyslíku v oceli
- Obsah volného vápníku požadovaného po přidání
- Ztráty vápníku způsobené vypařováním.

Podle názoru Stolteho [21], při dobré dezoxidaci taveniny a velmi nízké reoxidaci se rozpustí v tavenině okolo 15 % přidaného vápníku.

4.5.1 Účinnost využití vápníku

Materiálová bilance pro spotřebu vápníku je vyjádřena jako:

$$W_i = W_b + W_o + W_o' + W_s + W_v \quad (34)$$

Gumulec, T.: *Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním*. Disertační práce.

VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011.

kde: W_i je množství injektovaného vápníku,
 W_b - množství vápníku rozpuštěného v lázni,
 W_o - množství vápníku přítomného v hlinitanech a sulfidech,
 W_o' - množství vápníku reagujícího s hliníkem a dodatečně vyplouvajícího,
 W_s - množství vápníku reagujícího se struskou,
 W_v - množství vápníku uniklého vypařeného a následně shořeného na povrchu lázně.

Obvykle se akceptuje, že $W_b \ll W_o$, pro efektivitu využití vápníku se tedy používá :

$$\eta(\text{Ca})_u = [(W_o + W_o')/W_i] \cdot 100\% \quad (35)$$

zatímco účinnost vápníku navázaného v oceli je dána :

$$\eta(\text{Ca})_r = (W_o/W_i) \cdot 100\% \quad (36)$$

Zkušenosti dosažené v četných provozních pokusech ukazují, že účinnost navázaného vápníku klesá s rostoucím množstvím injektovaného vápníku. Množství injektovaného vápníku by mělo být přizpůsobeno v souladu se stupněm čistoty oceli nebo s celkovým obsahem kyslíku. Obvykle vede injektáž většího množství vápníku, než který může reagovat s dostupnými vměstky, ke snížení efektivity navázaného vápníku.

Mimoto se očekává, že účinnost navázaného vápníku v plynule litém předlitku nebo v odlitém ingotu bude menší než v pánvi, kvůli flotaci vápenatých vměstků ven z lázně v časovém intervalu předcházejícímu lití či odlévání. [13]

Turkdogan [26] uvádí následující využití vápníku v pánvi a mezipánvi pro hliníkem uklidněné oceli s počátečním obsahem kyslíku 50 až 80 ppm ve formě hlinitanových vměstků.

Tab. 1: Využití navázaní vápníku v pánvi a mezipánvi

Ca (injektovaný) (kg/tunu)	Pánev $\eta(\text{Ca})_r$ (%)	Mezipánev $\eta(\text{Ca})_r$ (%)
0,16	21,30	12,15
0,36	12,18	6,90

5 MOŽNOSTI PŘIDÁVÁNÍ VÁPNIKU, HLINÍKU A SÍRY DO OCELI

Hlavně CaSi (pokud není omezení na formu Si) nebo CaFe jsou injektovány jako plněný profil nebo dmýcháním prášku. Vápníkové komposity by měly být přidávány za atmosférického tlaku pod odprašovacím systémem. Při přidávání pod vakuem by se vápník mohl vypařovat a sublimovat na stěnách vakuovací nádoby nebo ve vakuovacích trubkách.

Při kontaktu se vzduchem se oxiduje a může se vznítit. Jestliže jsou použity mechanické pumpy, může to poškodit filtry, které jsou instalovány v odvodních plynových potrubích, před samotným vakuovacím zařízením.

5.1 Vstřelování plněného profilu

Plněný profil, přidávaný nejčastěji na pánvové peci (**obr. 15**), je preferován pokud je injektováno jen malé množství, např. 0,5 kg/t Ca. Teoreticky by měl být přidáván do sestupného proudu oceli v pánvi. Bohužel to není často možné realizovat. Profil by měl být přidán přes velmi malé oko ve strusce vytvořené bublinami argonu. Argon současně homogenizuje ocel v pánvi. Nejčastější tvar profilů je kruhový nebo čtvercový. Průměr kruhového profilu je od 9 do 13 mm, občas 16 mm. Rychlost vstřelování, teplota taveniny a tloušťka plechu tvořícího profil jsou důležité, protože profil by se měl roztavit právě před dosažením oblasti dna pánve. Jestliže je rychlost příliš pomalá, profil se roztaví v horní oblasti taveniny. Jestliže je rychlost velká, profil se vrátí zpět ode dna pánve směrem k povrchu taveniny. V obou případech je výtěžek vápníku snížen. Vápník, který dosáhne oblasti struska / kov reaguje s kyslíkem a vzniká velké množství výparů.

Jako příklad pro 200 t tavbu je vstřelován plněný profil o průřezu 16 x 7 mm nebo kruhový o průměru 13 mm rychlostí 200 m/min. Pro 30 t tavbu je použit kruhový profil o průměru 13 mm rychlostí 40 - 50 m/min. [21]

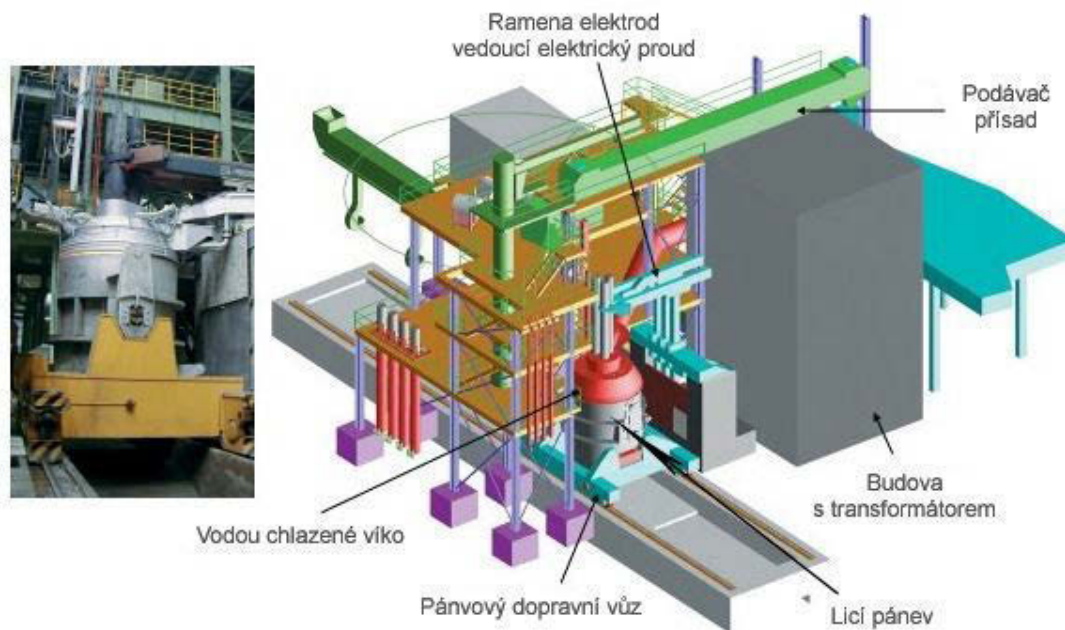
Tloušťka plechu k výrobě plněného profilu je 0,4 mm. Obsah CaSi na metr profilu závisí na složení CaSi. Běžné složení je 30 % hm. Ca + 60 % hm. Si. Typická váha je 225 g CaSi na metr. Pokles teploty během vstřelování profilu je srovnatelný s dmýcháním CaSi, díky velmi jemnému dmýchání argonu a dobře zakrytému povrchu kovu. Struska je držena v klidu a riziko reoxidace vzduchem nebo oxidy ze strusky je nízká.

5.2 Dmýchání prášku

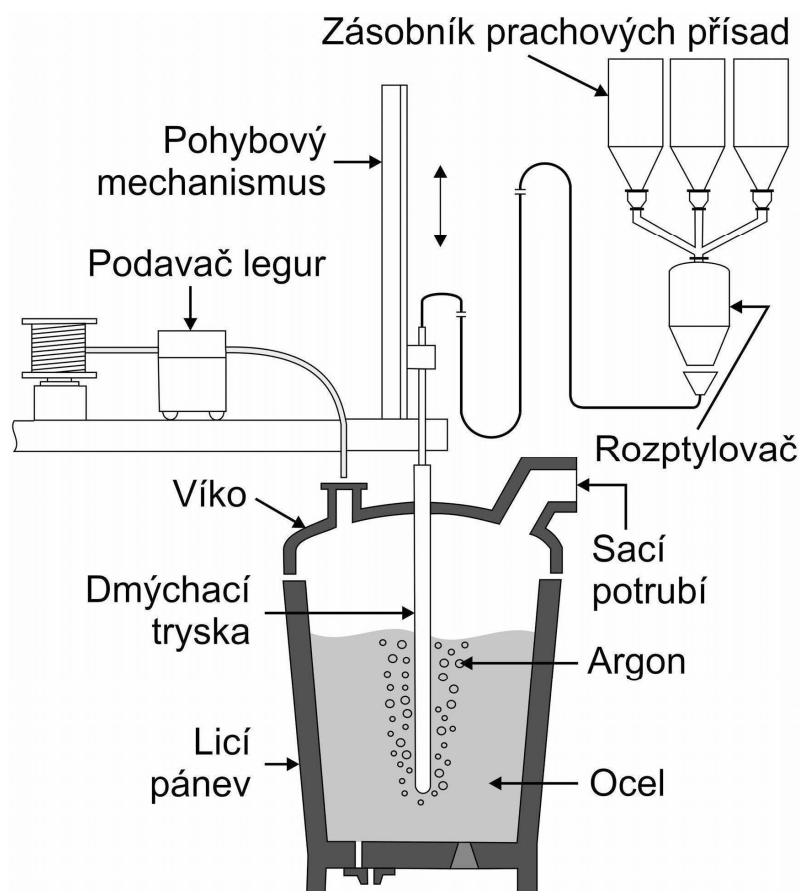
Typická stanice pánvové úpravy je znázorněna na **obr. 16**. Ukazuje zařízení pro vstřelování profilu stejně jako trysku pro dmýchání prášku. Pro probublávání argonem by tryska měla mít na konci malý otvor. Preferována je porézní tvárnice ve dně pánve. Tryska je ponořená do vzdálenosti okolo 0,3 m ode dna. Síra může být odstraňována dmýcháním jednak CaSi nebo směsí CaO- Al₂O₃ respektive CaO-CaF₂. Poměr dmýchaného prášku se mění od 10 do 80 kg za min. podle velikosti pánve a typu materiálu. Množství dmýchaného CaSi do 100 t pánve je 40 kg za min. [21]

Kromě horního probublávání argonem tryskou je pánev většinou vybavena porézní tvárnici ve dně pánve. Pro pánev velikosti 200 t mohou být instalovány 1, 2

nebo 3 porézní tvárnice, zvláště pro odsíření oceli struskou. Je zřejmé, že pro odsíření by pánev měla mít bazickou vyzdívku (dolomit nebo magnezit).



Obr. 15: Schéma pánvové pece



Obr. 16: Schéma stanice SL trysky

6 STATISTICKÝ ROZBOR PARAMETRŮ VYBRANÝCH ZNAČEK OCELI

Při hledání vzájemných vztahů a závislostí mezi vybranými parametry sledovaných jakostí ocelí byly použity metody matematické statistiky. Pro posouzení průběhu tavby byl rovněž zaveden nový parametr, označený jako „*parametr tekutosti*“, dále jen **PT**.

6.1 Použité statistické metody

Ke statistickému hodnocení souboru taveb byly vybrány metody matematické statistiky, které byly v minulosti k dané problematice již několikrát použity. [27] [28], [29], [30], [31]

V prvním kroku byly zvoleny grafické metody histogram a box-plot, dále pak následovaly numerické metody párová a parciální korelační analýza, párová a vícenásobná lineární regrese.

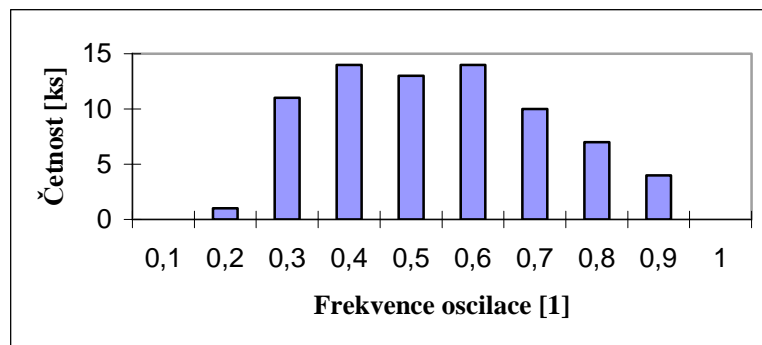
6.1.1 Histogram

Při statistickém zpracování dat se ukazuje jako velmi vhodné kombinovat numerické a grafické metody, neboť některé nevýhody jedné metodiky jsou kompenzovány druhou. Histogram představuje grafické znázornění intervalového rozdělení četnosti. Jde o sloupcový graf, kde základna jednotlivých sloupců (osa x) odpovídá šířce intervalu h a výška sloupců (osa y) vyjadřuje četnost hodnot sledované veličiny v příslušném intervalu.

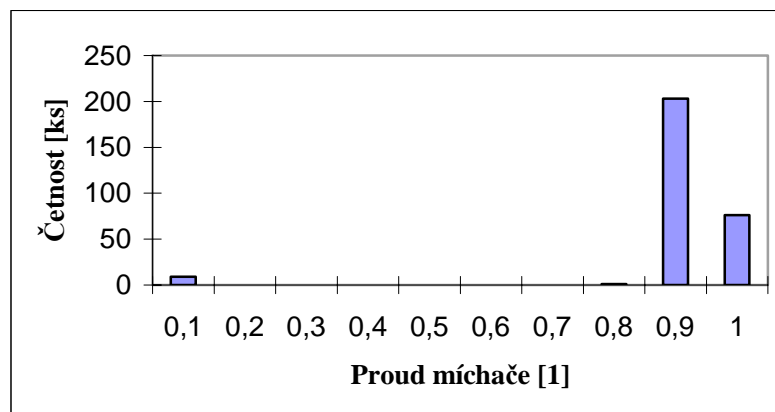
Histogram mimo jiné umožňuje:

- posouzení normality dat
- identifikaci odlehlých hodnot
- odhalení vícemodálního rozdělení

Příklady rozdělení četnosti jsou uvedeny na **obr. 17 a 18**. Na **obr. 17** je uveden příklad vhodného rozdělení hodnot parametru. Naopak na **obr. 18** lze vidět rozdělení hodnot nevhodné ke statistickému zpracování.



Obr. 17: Histogram parametru frekvence oscilace



Obr. 18: Histogram parametru proud míchače

6.1.2 Box plot

Metoda box-plot patří rovněž mezi grafické metody. Tato metoda umožňuje posoudit symetrii u konců rozdělení a identifikovat odlehlé hodnoty.

Odlehlé hodnoty by měly být ze souboru odstraněny, aby nedocházelo ke zkreslování výsledků statistických metod.

K analýze získaných a následně filtrovaných dat byly použity nástroje statistické analýzy, které jsou součástí statistického software u Microsoft office a Statgraphics.

6.1.3 Analytický nástroj korelace

Korelaci lze použít k testování závislosti dvou sad dat. Závislost znamená, že velké hodnoty v jedné sadě odpovídají velkým hodnotám v sadě druhé (korelace kladná), nebo malé hodnoty v jedné sadě odpovídají velkým hodnotám ve druhé sadě (korelace záporná). Tento nástroj udává vztah mezi dvěma sadami dat bez ohledu na použité jednotky míry. Korelační koeficient lze definovat jako kovarianci dvou sad dat dělenou součinem jejich směrodatných odchylek.

Korelační koeficient nabývá hodnot v intervalu $\langle -1;1 \rangle$. Čím vyšší je absolutní hodnota korelačního koeficientu, tím větší je závislost jedné sady dat na druhé.

6.1.3.1 Korelace párová

Korelace párová nám udává těsnost závislosti mezi dvěma parametry. Pokud je však do této analýzy zahrnuto více parametrů, z nichž jeden je ovlivňován dalšími parametry, může nastat problém. Tato analýzy totiž nedokáže tyto vztahy zohlednit. Výsledné korelační koeficienty pak mohou být více či méně zkresleny právě těmito vzájemně se ovlivňujícími parametry.

6.1.3.2 Korelace parciální

Parciální korelace jsou podobné párovým koeficientům, ale vyjadřují vzájemnou korelaci s vyloučením vlivu všech ostatních proměnných. Mají tedy smysl jen v případě více než dvou proměnných. Parciální koeficienty obvykle věrněji vyjadřují skutečnou závislost mezi proměnnými nezkreslenou vlivem závislostí mezi ostatními parametry.

6.1.4 T-test

Při výpočtu regresních koeficientů může nastat situace, že mezi nimi jsou až řádové rozdíly. V takových případech vzniká problém, zda má smysl jednotlivé koeficienty zařadit do regresní funkce. K objektivnímu posouzení jejich významnosti lze použít T-test. Lze jej využít také při testování významnosti korelačních koeficientů. Výchozí hypotéza předpokládá nevýznamný regresní či korelační koeficient. Tento předpoklad ověřujeme porovnáním hodnoty testovacího kritéria s kritickou hodnotou v tabulce Studentova rozdělení. Pokud je hodnota testovacího kritéria větší než kritická hodnota nalezená v tabulkách, zamítá se výchozí předpoklad a koeficienty se považují za významné. Hladina významnosti u použitého statistického software byla nastavena na 95 %. Parametr je pak považován za významný, jestliže jeho kritická hodnota P je nižší než 0,05.

6.1.5 Párová lineární regrese

Párová lineární regrese je určena k hledání závislosti mezi dvěma zadanými parametry, např. mezi faktorem jakosti (y), jakou je četnost vady či hloubka uložení vady, a zvoleným parametrem licího stroje (x). Výsledkem je rovnice přímky ve tvaru:

$$y = k \cdot x + q \quad (37)$$

kde: k - je směrnice přímky

q - je absolutní člen

Výsledky dosažené pomocí lineární analýzy jsou testovány T-testem. Aby byl vliv parametru hodnocen jako významný, musí být kritické hodnoty P minimální (obvykle $P < 0,05$).

Vzhledem k tomu, že párová regrese popisuje vliv pouze jednoho parametru (vytrženého ze souboru všech ostatních parametrů) na příslušnou vadu, může nastat případ, kdy působení ostatních parametrů, které v této regresi nejsou zahrnuty, zcela změni (až znehodnotí) výsledek.

6.1.6 Vícenásobná lineární regrese

Vícenásobná regresní analýza je určena ke stanovení míry vlivu významných parametrů na hodnotu sledované veličiny (vady PLP). Za nezávislé parametry v regresní rovnici dosazujeme konkrétní hodnoty daných parametrů v rozmezí naměřených hodnot a výpočtem zjistíme očekávanou velikost zkoumaného parametru.

Na rozdíl od regrese párové tato regrese zohledňuje možné vzájemné ovlivňování jednotlivých parametrů a zahrnuje to ve svých propočtech. Analýza se provádí na základě údajů za předcházející období. Jejím cílem je získání vztahů a závislostí mezi několika proměnnými. Předpokládáme, že existuje nějaká závislost mezi závislou proměnnou y a nezávislými proměnnými x_1, x_2, \dots, x_k . Rovnice lineární regrese pak má tvar:

$$y = \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_k \cdot x_k \quad (38)$$

kde: β_i - je příslušný koeficient

Výsledky dosažené pomocí lineární analýzy jsou opět testovány pomocí T-testu. Aby byl parametr vyhodnocen jako významný, musí být hodnoty dosažené tímto testem opět menší než 0,05. Čím nižší je jeho hodnota, tím významnější je daný parametr.

6.2 Parametr tekutosti

Pro sledování, statistické zpracování a stanovení významnosti jednotlivých parametrů na odlévatelnost oceli, byl stanoven tzv. „*Příznak tekutosti*“, dále značený jako „*PT*“, který charakterizuje míru zalepení výlevky podle výšky polohy zátkové tyče. Nabývá hodnoty 1 až 4, přičemž hodnota 1 symbolizuje odlití tavby bez problémů, zátková tyč se nachází v nízké poloze, naopak hodnota 4 znázorňuje v podstatě havarijní stav, kdy zátková tyč je v nejvyšší poloze, neboť průtok oceli výlevkou je už značně limitován nasazeninami ve výlevce. Bližší popis PT je uveden v **tab. 2**.

Tab. 2: Tabulka příznaku tekutosti

PT	Popis
1	Tavba proběhla v pořádku
2	Tavba výlevku mírně zanáší
3	Tavba výlevku zanáší více (většinou se končí u další tavby v sekvenci)
4	Tavba úplně zanesla ponorné výlevky

Tento parametr je vztažený na celou tavbu, nikoli na jednotlivé výlevky, neboť se projevoval u všech výlevek mezipánve stejně.

6.3 Vybrané parametry oceli

Pro hodnocení byly vybrány parametry, které se podle teoretických předpokladů vycházejících z použité literatury a po konzultaci se odbornými metalurgy ZPO na vznik uvedených škodlivých nekovových vměstků podílejí nejvíce. Jedná se zejména o obsahy vybraných prvků tvořících sledované nekovové vměstky (S, Al, Ca), poměry mezi nimi a dále teplotní parametry vybraných jakostí ocelí. Jejich výčet je v **tab. 3**.

Tab. 3: Seznam vybraných parametrů oceli

Parametr	Popis parametru	Jednotka
<i>C</i>	obsah uhlíku v oceli	hm. %
<i>S</i>	obsah síry v oceli	hm. %
<i>Al</i>	obsah hliníku v oceli	hm. %
<i>Ca</i>	obsah vápníku v oceli	hm. %
<i>Ca/Al</i>	poměr mezi obsahy vápníku a hliníku	1
<i>Ca/S</i>	poměr mezi obsahy vápníku a síry	1
<i>T_{likvidu}</i>	teplota likvidu oceli	°C
<i>T_{nejm.}</i>	nejmenší teplota oceli dosažená během jejího plynulého odlévání	°C
<i>Přehřátí</i>	teplota přehřátí oceli	°C

Nejprve byl vytvořen soubor, čítající 90 taveb různých SBQ jakostí, ovšem podobného chemického složení. Jednotlivé parametry byly transformovány na bezrozměrné velikosti (39). Jednotlivé parametry byly přepočítány na bezrozměrný tvar, aby bylo možno porovnat směrnice lineárních párových regresí a tudíž intenzitou závislostí.

$$x_{T_i} = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (39)$$

kde x_{T_i} je transformovaná hodnota parametru , 1
 x_i - skutečná velikost měřeného parametru,
 x_{\max} - maximální hodnota parametru v souboru,
 x_{\min} - minimální hodnota parametru v souboru.

7 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

K přidávání vápníku do tekuté oceli dochází na pánvové peci nebo na vakuovací stanici typu RH podle toho, o jakou značku oceli se jedná a jaký je její výrobní cyklus. Vápník se do oceli přidává jednak ve formě plněného profilu CaSi a jednak rovněž ve formě CaCN_2 neboli „dusíkatého vápna“, čímž dojde zároveň k částečnému nalegování oceli dusíkem.

Cíle této disertační práce spočívají v ověření stupně modifikace korundových vměstků typu Al_2O_3 při použití rozdílných forem vápníku.

Toto ověření bude provedeno:

- metodou mikroanalýzy a fázové analýzy vměstku
- využitím výše uvedených statistických metod hodnocení stupně zarůstání výlevek při plynulém odlévání SBQ ocelí

Výsledkem disertační práce by mělo být rovněž stanovení parametrů a závislostí mezi parametry ovlivňujícími tvorbu a modifikaci korundových vměstků typu Al_2O_3 a následně zarůstání ponorných výlevek mezipánve ZPO.

8 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Předkládané teze obsahují stručný přehled analýzy literárních údajů problematiky tvorby a modifikace nekovových vměstků typu Al_2O_3 na komplexní vměstky typu $\text{xCaO.yAl}_2\text{O}_3$ a s nimi spojeného zarůstání ponorných výlevek mezipánve při plynulém odlévání oceli, definují hlavní cíle disertační práce a metodiku experimentálního výzkumu.

Z teoretického rozboru vyplývá, že vzniku těchto škodlivých nekovových vměstků nelze nikdy úplně zabránit, vzniklé nekovové vměstky je však možno použitím vhodné technologie modifikovat na jiné, komplexní vměstky, které jsou během odlévání tekuté oceli v tekutém stavu a tudíž ponorné výlevky mezipánve nezatahují.

Jednou z vhodných možností je přidávání přesně stanoveného množství vápníku ve formě např. slitiny CaSi pomocí vstřelení plněného profilu do objemu ocelové lázně. Aplikace této metody je však podmíněna dobrou znalostí termodynamiky a kinetiky procesu modifikace nekovových vměstků typu Al_2O_3 na složitější komplexní vměstky typu $\text{xCaO.yAl}_2\text{O}_3$. Nedílnou součástí proto zůstává provedení provozní verifikace, která ověří skutečné množství a typy vzniklých nekovových vměstků a adekvátnost teoretických vypočtů.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Hlavní cíle této disertační práce spočívají v ověření stupně modifikace korundových vměstků typu Al_2O_3 při použití rozdílných forem vápníku. Z toho důvodu byly (v rámci grantového projektu č. 106/04/0029) provedeny zkušební tavby a odebrány vzorky vybraných jakostí oceli s cílem posouzení této modifikace.

Pro experimentální tavby byly vybrány 2 jakosti SBQ ocelí. Jako zástupce SBQ ocelí, kdy se vměstky Al_2O_3 modifikují pomocí CaCN_2 , byla vybrána jakost 30MnVS6, jako zástupce SBQ ocelí kdy se vměstky Al_2O_3 modifikují pomocí CaSi , byla vybrána jakost C35RKL.

Ve druhé části experimentální práce byl hodnocen vliv vybraných parametrů oceli na stupeň zarůstání výlevek při plynulém odlévání SBQ ocelí využitím metod matematické statistiky. Ke statistickému hodnocení souboru taveb byly v prvním kroku zvoleny grafické metody histogram a box-plot, dále pak následovaly numerické metody párová a parciální korelační analýza, párová a vícenásobná lineární regrese.

9 VYBRANÉ JAKOSTI OCELI

9.1 SBQ oceli - charakteristika

Oceli s řízeným obsahem síry, se nazývají SBQ oceli, neboli „Special Bar Quality“. Vyznačují se zvýšeným obsahem síry v rozmezí 0,020 – 0,050 % hm. a proto musejí být vyráběny speciální technologií zamezující odsíření oceli. Jistým druhem, spadajícím do oblasti SBQ, je automatová ocel, která se vyznačuje vysokým obsahem síry, a to v rozmezí $0,2 \div 0,3$ % hm.

Po ukončení rafinace oceli v pánvi se tyto oceli odlévají na zařízení pro plynulé odlévání (ZPO). To sebou může přinést řadu technických komplikací. Mezi nejčastější problémy při jejich plynulém odlévání patří zarůstání výlevek mezipánve. To je způsobeno nalepováním nekovových vměstků na stěnu výlevky. Mezi nejškodlivější vměstky patří v tomto směru zejména vměstky typu Al_2O_3 a CaS . Z tohoto důvodu je vhodné vměstky Al_2O_3 modifikovat na tekuté hlinitany vápenaté a současně zabránit vzniku vměstků CaS v tekuté oceli. Jako modifikátor se používá zejména vápník a to v několika formách, nejčastěji pak ve formě CaSi . Jelikož některé typy SBQ ocelí mají rovněž zvýšený obsah dusíku, je možné použít k modifikaci nekovových vměstků rovněž vápník ve formě CaCN_2 (dusíkaté vápno), kdy dochází jak k modifikaci vměstků vápníkem, tak rovněž k nalegování oceli dusíkem.

Tento druh oceli je určen pro výrobu drobných součástí obráběním. Hlavní důraz se klade na obrobiteľnosť. Hlavním předpokladem dobré obrobiteľnosti je tvorba málo tvárných globulárních sulfidů I. typu.

Z obr. 11 a 12 vyplývá, že pokud obsah síry stoupne z „normální“ úrovně (0,010 \approx 0,015 % hm.), začnou se objevovat problémy a při obsahu síry 0,030 – 0,040 % hm. dochází ke vzniku vážných problémů při plynulém odlévání v důsledku nesnadné tvorby tekutých hlinitanů vápenatých. Při velmi velkém obsahu síry (až 0,1 % hm.) se ukázalo těžké nebo nemožné dosáhnout úplné modifikace vměstků Al_2O_3 na hlinitan vápenatý.

9.2 Použití SBQ ocelí

Využití SBQ ocelí je velmi široké, především pak v automobilovém průmyslu. Výrobky s SBQ ocelí se využívají jako:

a) Součásti podvozků a hnacích soustav

- Spojnice kardanových hřídelí
- Kinematické klouby
- Ramena náprav
- Duté klouby
- Čepy náprav
- Řídící tyče

b) Brzdové systémy, řízení součástí šasi

- Středová pouzdra volantů

-
- Zámkové systémy
 - Dveřní závěsy
 - Kulové čepy
 - Prvky řízení
 - Vlečná oka
 - Náboje kol
 - Čepy brzd

c) Součásti motorů převodovek

- Hnaná a hnací kola rozvodovky
- Příruby výfukových systémů
- Díly pro převodovky
- Zapalovací svíčky
- Zubová čerpadla
- Váčkové hřídele
- Součásti spojek
- Hřídele startérů
- Víka ojníc

d) závěsy, nosné tyče, tažná zařízení,

e) předlokové a rozvodové hřídele,

f) pastorky a talířová kola,

g) části řízení (hřebenovky),

h) čepy pedálových systémů,

i) stabilizátory náprav,

j) tlakové nádoby do brzdových systémů,

k) ložiska,

l) hřídelky stěračů, zvedáky, závaží na el-instalaci, auto-náradí.

9.3 Produkt mix SBQ ocelí v Třineckých železárnách a.s.

Tab. 4 Produkt mix ZPO č.2

Konstrukční	Uhlíkové	Mikrolegované	Cementační
S355J2G3	C15E,R	38MnSiVS5	16MnCr5,S5
	C35E,R,RKL	30MnVS6	20MnCr5,S5
	C45E,R		
	C60E,R		
Automatové oceli	Legované k zušlechťování	Řetězové	Mikrolegované bórem
9SMn28	42CrMo4,S4	23MnNiCrMo52	31MnCrB
	39NiCrMo3		
Řetězové	Mikrolegované bórem	Pružinové	CHQ
23MnNiCrMo52	31MnCrB	55SiCr	34CrMo4
		50CrV4	
Dle firemních specifikací	M - oceli	Ložiskové	Nerezavějící
38MnSiVS5PED	16MnCrS5-TZM	100Cr6	X5CrNi1810
	42CrMoS4-TZM		X10CrAl7
			A10CrNiMo2Ti
Nástrojové			
T55W			

Produkt mix, uvedený v **tab. 4** se neustále rozšiřuje o nové značky. Tyto značky nelze dělit dle jakosti na lepší a horší, protože každá má své specifikum. V rámci **tab. 4** se v TŽ, a. s. nejvíce vyrábějí SBQ oceli legované k zušlechťování. Na druhém místě pak SBQ oceli konstrukční a na třetím SBQ oceli uhlíkové.

9.4 Ocel C35RKL

U jakosti oceli C35RKL provádíme modifikaci vměstků vápníkem vstřelováním plněného profilu CaSi. Tato jakost oceli patří dle **tab. 4** mezi SBQ oceli uhlíkové, ze které se vyrábějí kruhové tyče, které podléhají v TŽ, a. s. dalšímu zpracování a to buď tzv. loupání nebo tažení.

Mezi odběratele loupané kruhové tyče patří např. MOKOV Jihlava, TRW DAS Dačice a další. Mezi odběratele tažené kruhové tyče patří již zmíněná TRW DAS Dačice. Z těchto polotovarů se vyrábějí konečné výrobky do automobilů, jako čepy, klouby, prvky řízení atd.

Oceli C35RKL je vyráběna následujícím technologickým postupem:

Vysoká pec → Kyslíkový konvertor → Argonovací stanice → Pánvová pec → Vakuovací stanice RH → ZPO

Tab. 5 Požadované chemické složení oceli značky C35RKL, % hm.

	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Al</i>	<i>Mo</i>	<i>H</i>
Min.	0,32	0,50	0,15	-	0,02	0,02	-	-
Max.	0,39	0,80	0,40	0,03	0,04	0,03	0,10	3,00

V podmínkách TŽ, a. s. je tato značka oceli vyráběná v kyslíkovém konvertoru technologií omezující odsíření.

Po odpichu z konvertoru do licí pánve dochází u oceli k teplotní a chemické homogenizaci na argonovací stanici, kde se lázeň nechává promíchávat foukáním argonu horní a spodní tryskou. Zároveň se do strusky přidává hliník, aby došlo ke snížení oxidační schopnosti strusky, tedy k redukci obsahu FeO ve strusce. Hliník je granulovaný a podává se ručně (lopatou).

Na pánvové peci (příhřev elektrickým obloukem) se ocel přehřívá dle použitého napětového stupně (1 – nejnižší, 10 – nejvyšší) rychlostí přibližně 5 °C za minutu, což odpovídá napětovému stupni 10, při hmotnosti tavby 185 t. Čím větší je hmotnost tavby, tím pomaleji se lázeň ohřívá. Zároveň se do lázně přidávají přísady Al, FeSi, MnSi, S, smolný koks a CaSi formou vstřelování plněného profilu rychlostí 4 m.s⁻¹. Písady se přidávají proto, abychom dosáhli požadovaného složení a jakosti oceli. Pořadí přidávání přísad není důležité. V průběhu celého zpracování oceli na pánvové peci dochází k intenzivnímu promíchávání taveniny pomocí foukání argonu přes porézní tvárnici umístěnou ve dně licí pánve. Důvodem je opět teplotní a chemická homogenizace oceli.

Na vakuové stanici RH se ocel zbavuje rozpuštěných plynných fází, především vodíku. Doba vakuování závisí na množství vodíku v oceli (běžně cca 7 min.) a během tohoto procesu se do oceli přidávají opět již dříve zmíněné přísady k dosažení požadovaného složení a jakosti oceli. Jako poslední se přidává CaSi.

Ocel se pak z licí pánve přelévá do mezipánve ZPO. Přehřátí na pánvové peci je stanoveno na 45 až 55 °C, protože na vakuové stanici a v mezipánvi dochází k poklesu teploty. Velikost přehřátí závisí na teplotě likvidu oceli, kterou snižuje obsah doprovodných prvků v oceli, zejména obsah uhlíku.

9.5 Ocel 30MnVS6

Ocel jakosti 30MnVS6 je charakteristická vysokým obsahem dusíku. Toho dosahujeme vstřelování plněného profilu CaCN₂ (dusíkaté vápno), popř. dusíkatého FeMn na pánvové peci. Cílem je zabezpečit vyšší obsah dusíku v oceli a modifikace vměstků vápníkem. Tato značka oceli slouží pro precipitační vytvrzování nebo zápuštěvé kování. Podle **tab. 4** patří do skupiny mikrolegovaných ocelí.

Mezi odběratele patří kovárny MOKOV Jihlava, Ostroj Opava, německá ERNST KREBS a německá CDP. Firma CDP vyžaduje, aby tato značka oceli nebyla legována titanem a aby dosahovala vyššího obsahu dusíku.

Jakost oceli 30MnVS6 je vyráběna následujícím technologickým způsobem:

Vysoká pec → Kyslíkový konvertor → Argonovací stanice → Pánvová pec → Vakuovací stanice RH → ZPO

Technologický postup výroby 30MNVS6 je stejný jako u značky C35RKL. Rozdíl spočívá jen v použití jiných druhů příměsí obsahujících vápník. V pánvové peci se do lázně přidává FeMn, Al, CaCN₂, S a na vakuování stanici MnSi, FeSi, FeTi, S a CaSi.

Tab. 6 Požadované chemické složení oceli značky 30MNVS6, % hm.

	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Al</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Sn</i>	<i>N</i>
Min.	0,26	1,20	0,15	-	0,02	0,01	0,08	0,010	-	0,01
Max.	0,33	1,60	0,80	0,025	0,06	0,05	0,20	0,035	0,02	0,02

Jak je možno z **tab. 6** vidět, jedná se o středněuhlíkovou ocel se zvýšeným obsahem síry a dusíku, mikrolegovanou titanem a vanadem a uklidněnou hliníkem.

Modifikace hlinitanových vměstků se provádí pomocí vápníku ve formě již výše uvedeného profilu CaCN₂.

10 POUŽITÉ FORMY VÁPNIKU K MODIFIKACI VMĚSTKŮ

V taveninách železa nebo oceli je vápník obvykle přidáván v kombinaci s jinými prvky, zejména C, Si, Al nebo Fe. Pro injektáž se používá prachový materiál s hustotou 1 t.m^{-3} a s velikostí zrna menší než 0,1 mm. Vápník má vysokou afinitu k síře a ještě vyšší afinitu ke kyslíku. To znamená, že pokud je vápník rozpuštěn v tavenině, před tím, než reaguje se sírou, reaguje nejprve s rozpuštěným kyslíkem. Vápník se do vyráběných ocelí přidává ve dvou formách. Pro oceli s řízeným obsahem dusíku se přidává ve formě plněného profilu CaCN_2 neboť spolu s modifikací hlinitanových vměstků dochází i k legování oceli dusíkem. Pro oceli bez řízeného obsahu dusíku se používá vápník ve formě plněného profilu CaSi .

10.1 Vápník ve formě CaSi

CaSi se používá nejčastěji, a to ve formě plněného profilu, který se do lázně vstřeluje přibližně rychlostí 4 m.s^{-1} . CaSi se dává přednost před použitím čistého vápníku proto, protože vypaření vápníku z této slitiny není tak rychlé a navíc je mnohem levnější než čistý vápník. CaSi se do oceli vstřeluje vždy jako poslední z přidávaných přísad, a to těsně před výjezdem z dané operace (např. z přehřevu, z vakuování atd.). Typické složení této slitiny je uvedeno v **tab. 7**.

CaSi se do oceli přidávalo ve formě plněného profilu jednak na pánvové peci jednak na vakuovací stanici typu RH, vždy na závěr zpracování.

Tab. 7 Složení vápníkové slitiny CaSi , % hm.

Typ sloučeniny	Ca	Si	Al	Fe
CaSi	30	62	2	2,5
CaSi s hliníkem	20	60	15	~ 5

10.2 Vápník ve formě CaCN_2

CaCN_2 , nebo-li kyanamid vápenatý ($\text{Ca} = \text{N} - \text{C} \equiv \text{N} \Rightarrow \text{CaCN}_2$), patří mezi speciální vápníkovou sloučeninu, která se používá jen pro ocel s požadovanou vysokou hladinou dusíku. Tato sloučenina se, podobně jako CaSi , vstřeluje do lázně formou plněného profilu, a to během zpracování oceli na pánvové peci. V praxi se lze s touto sloučeninou setkat také pod názvem „dusíkaté vápno.“

Tab. 8 Chemické složení CALZOTU (zdroje CaCN_2), % hm.

Složka	CaCN_2	CaO	$\text{N}_{\text{volný}}$	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	H_2O	$\text{C}_{\text{volný}}$	$\text{C}_{\text{zbytkový}}$
% hm.	cca 66	cca 15	cca 3	cca 2	cca 0,3	max. 12	cca 0,1

Vliv přidávání CaCN_2 na metalografickou čistotu SBQ ocelí je popsán například v publikaci Gumulce a Adolfa [32].

11 MODIFIKACE NEKOVOVÝCH VMĚSTKŮ OCELÍ TŘÍDY C35RKL POMOCÍ VÁPNIKU VE FORMĚ CaSi

11.1 Popis experimentu

K experimentálním tavnám byla vybrána jakost oceli C35RKL jako typický představitel jakosti u které se pro modifikaci hlinitanových vměstků používá plněný profil CaSi. Z tavebních listů získaných na kyslíkokonvertorové ocelárně, pracovišť mimopecního zpracování oceli (argonovací stanice, pánvová pec, vakuové zařízení RH) byly získány základní údaje o sledovaných tavnách SBQ ocelí.

Technologie odběru vzorků z jednotlivých taveb byla na všech stanovištích stejná. Vzorky se odebíraly ponorným vzorkovačem bez použití uklidňovače. Odebrané vzorky se posléze prudce zchladily ve vodě a odeslaly do laboratoří k chemické analýze.

Sledovány byly tři tavby oceli značky C35RKL (tavby č. 53220 - dále označována jako X_1 , č. 53222 - dále označována jako X_2 , č. 53224 - dále označována jako X_3). Všechny tři tavby byly odlity bez problémů.

11.2 Vývoj chemického složení sledovaných taveb jakosti C35RKL

Požadované chemické složení všech tří taveb oceli značky C35RKL již bylo uvedeno dříve v **tab. 5**. V **tab. 9** je uveden obsah základních prvků v surovém železe, použitého k výrobě oceli v kyslíkovém konvertoru.

Tab. 9 Chemické složení surového železa, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
X_1	4,560	0,380	0,720	0,093	0,010
X_2	4,604	0,450	0,700	0,093	0,010
X_3	4,712	0,500	0,690	0,088	0,008

Během zkujňování byly do kyslíkového konvertoru přidány přísady, jako vápno, aglomerát, antracit, uhlí atd. Množství a typ přísad přidávaných do taveb během jejich zpracování je možno vidět v tavebních listech, viz. příloha **obr. 25, 28 a 31**. Chemická analýza oceli před odpichem z kyslíkového konvertoru je uvedena v **tab. 10**.

Tab. 10 Chemické složení oceli před odpichem z konvertoru, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>
X_1	0,049	0,07	0,004	0,018	0,031	0,05	0,06
X_2	0,072	0,14	0,005	0,026	0,033	0,06	0,05
X_3	0,036	0,08	0,004	0,023	0,024	0,05	0,04
<i>Tavba</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>W</i>	<i>V</i>	<i>As</i>	<i>Sn</i>	<i>Co</i>
X_1	0,03	0,005	0	0,001	0,002	0,004	0,002
X_2	0,03	0,006	0	0,001	0,003	0,004	0,001
X_3	0,02	0,004	0	0,001	0,002	0,003	0,001

Ocel, vyrobená v kyslíkovém konvertoru, byla následně odpichnuta do lící pánve, do které byly přidány příměsi za účelem další úpravy. Množství a typ přísad je možno opět dohledat v příloze, **obr. 25, 28 a 31**. Jednalo se zejména opět o vápno, granulovaný hliník, MnSi, FeSi atd.

Následně byla ocel převezena k teplotní a chemické homogenizaci na argonovací stanici, kde byl během zpracování opět přidáván hliník do strusky ke snížení její oxidační schopnosti. Chemické složení oceli, zjištěné po homogenizaci je uvedeno v **tab. 11**.

Tab. 11 Chemické složení oceli po zpracování na argonovací stanici, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>
<i>X₁</i>	0,298	0,62	0,254	0,021	0,027	0,05	0,06
<i>X₂</i>	0,290	0,55	0,207	0,022	0,027	0,06	0,05
<i>X₃</i>	0,290	0,60	0,219	0,022	0,02	0,05	0,04
<i>Tavba</i>	<i>Ni</i>	<i>Al</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Sn</i>	<i>B</i>
<i>X₁</i>	0,03	0,012	0,005	0,002	0,0016	0,004	0,0003
<i>X₂</i>	0,03	0,009	0,004	0,001	0,0019	0,003	0,0005
<i>X₃</i>	0,02	0,013	0,002	0,001	0,0013	0,002	0,0002

Po homogenizaci na argonovací stanici byly tavby převezeny na zpracování na pánvovou pec, k jejich finálnímu chemickému dolegování a dosažení požadované odjezdové teploty. Během přehřevu oceli v pánvové peci byly do lázně přidány další struskotvorné a legovací přísady, zejména FeMn, kazivec a rovněž se přidávala síra ve formě plněného profilu. Následně byl námi odebrán jeden testovací vzorek. Chemická analýza oceli po zpracování na pánvové peci je uvedena v **tab. 12**. Během celého procesu byl přes porézni tvárnici dmýchán argon.

Tab. 12 Chemické složení oceli po zpracování na pánvové peci, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>
<i>X₁</i>	0,323	0,69	0,256	0,021	0,031	0,06	0,06
<i>X₂</i>	0,324	0,73	0,218	0,024	0,032	0,05	0,06
<i>X₃</i>	0,308	0,68	0,212	0,023	0,034	0,04	0,05
<i>Ni</i>	<i>Al</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Sn</i>	<i>B</i>	<i>Ca</i>
0,03	0,009	0,005	0,003	0,0025	0,004	0,0006	0
0,03	0,011	0,005	0,003	0,0022	0,003	0,0004	0,0010
0,02	0,009	0,003	0,001	0,0016	0,002	0,0002	0,0004

Po zpracování na pánvové peci byly tavby převezeny na vakuovací stanici typu RH kvůli snížení obsahů rozpuštěných plynů, zejména vodíku. Rovněž došlo k drobné korekci chemického složení přidávkou CaSi, MnSi, plněného profilu síry atd. Přesné množství přidávaných struskotvorných a legujících přísad je opět možno vyčíst z **obr. 26, 29 a 32**. Během vakuování byl po přidávku CaSi odebrán druhý kontrolní vzorek.

Tab. 13 udává chemickou analýzu oceli po zpracování ve vakuu. Před, během a po vakuování se do lázně dmýchal spodem a násoskou argon.

Tab. 13 Chemické složení oceli po zpracování na vakuovací stanici, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Al</i>
<i>X₁</i>	0,365	0,69	0,254	0,023	0,022	0,06	0,06	0,03	0,020
<i>X₂</i>	0,373	0,73	0,224	0,024	0,031	0,05	0,06	0,03	0,025
<i>X₃</i>	0,371	0,69	0,221	0,023	0,029	0,04	0,05	0,02	0,023
<i>Tavba</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Sn</i>	<i>B</i>	<i>Ca</i>	<i>H</i>	<i>Nb</i>	<i>Sb</i>
<i>X₁</i>	0,006	0,003	0,0022	0,004	0,0007	0,0029	2,2 ppm	0,002	0,003
<i>X₂</i>	0,005	0,003	0,0020	0,003	0,0005	0,0030	2,1 ppm	0,002	0,003
<i>X₃</i>	0,004	0,003	0,0018	0,002	0,0002	0,0024	2,5 ppm	0,002	0,002

Z důvodu velkého poklesu teploty lázně musela být tavba *X₁* znovu přehřívána na pánvové peci. Rovněž došlo ještě k částečné korekci chemického složení tavby.

Tab. 14 Chemické složení tavby *X₁* po jejím opětovném zpracování na pánvové peci, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>
<i>X₁</i>	0,371	0,69	0,262	0,024	0,03	0,07	0,06	0,03
<i>Al</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Sn</i>	<i>B</i>	<i>Ca</i>	<i>Nb</i>	<i>Sb</i>
0,017	0,006	0,001	0,0022	0,004	0,0007	0,0036	0,002	0,003

Následně byly všechny tavby úspěšně odlity klasickým uzavřeným způsobem na ZPO.

Tab. 15 Finální chemické složení sledovaných taveb jakosti C35RKL, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Al</i>	<i>Mo</i>
<i>X₁</i>	0,368	0,69	0,263	0,023	0,026	0,07	0,07	0,03	0,015	0,010
<i>X₂</i>	0,372	0,73	0,221	0,023	0,030	0,06	0,07	0,03	0,022	0,008
<i>X₃</i>	0,376	0,70	0,217	0,022	0,029	0,04	0,06	0,03	0,021	0,007
<i>Co</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>As</i>	<i>Sn</i>	<i>B</i>	<i>Ca</i>	<i>H</i>	<i>N</i>	<i>Nb</i>	<i>W</i>
0,003	0,003	0,0024	0,002	0,004	0,0008	0,0023	2,2 ppm	0,0052	0,002	0,01
0,002	0,003	0,0021	0,003	0,003	0,0005	0,0019	2,1 ppm	0,0043	0,002	0,01
0,002	0,003	0,0018	0,002	0,002	0,0002	0,0016	2,5 ppm	0,0063	0,002	0,01

Ocel z lící pánve proudí z lící pánve pomocí tzv. stínící trubice do mezipánve a následně pak z mezipánve pomocí ponorných výlevků do krystalizátoru. Po celou dobu je tekutá ocel zakryta keramickými materiály čímž je chráněna proti své zpětné reoxidaci. Parametry oceli a lícího stroje jsou uvedeny v příloze, **obr. 27, 30 a 33**. Z mezipánve byl odebrán poslední vzorek k metalografické rozboru. Finální chemické složení sledovaných taveb je uvedeno v **tab.15**

Z vývoje chemického složení všech 3 taveb je možno vidět, že převážná část legování oceli byla provedena v lící pánvi po odpichu z kyslíkového konvertoru. Na pánvové peci pak došlo k doladění chemického složení, zejména pak obsahu síry pomocí plněného profilu síry. Na vakuovací stanici pak byla provedena konečná dezoxidace oceli a modifikace nekovových vměstků pomocí plněného profilu CaSi. Výjimkou byla pouze tavba X_1 která byla v důsledku většího poklesu teploty vrácena zpátky na pánvovou pec, kde došlo po ohřevu elektrickým obloukem ještě k dolegování síry a opětovnému dostřelení plněného profilu CaSi.

11.3 Vývoj chemického složení a bazicity strusky

Tab. 16 Chemické složení strusky oceli v konvertoru, % hm.

Tavba	Fe	CaO	SiO ₂	MgO	MnO	S	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	TiO ₂
X_1	25,40	43,20	9,50	7,12	3,86	0,10	1,17	0,59	0,25
X_2	21,70	42,10	12,60	7,53	4,26	0,07	1,21	0,68	0,38
X_3	26,40	37,70	9,90	8,88	4,01	0,05	1,07	0,76	0,34

Tab. 17 Chemické složení strusky po přehřevu na pánvové peci, % hm.

Tavba	Fe	FeO	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	CaF ₂
X_1	0,80	N.A.	0,39	19,80	16,90	46,72	8,79	0,29	0,02	0,00	0,45	2,90
X_2	1,30	1,567	0,81	21,20	17,70	44,72	6,81	0,20	0,03	0,00	0,49	1,56
X_3	1,50	1,645	1,30	23,40	18,00	40,14	8,11	0,11	0,01	0,02	0,54	1,21

Tab. 18 Chemické složení strusky po druhém přehřevu na pánvové peci, % hm.

Tavba	Fe	FeO	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	CaF ₂
X_1	0,20	N.A.	0,22	19,40	17,60	44,57	9,48	0,48	0,02	0,00	0,41	2,89

Jak je možno vyčíst z výše uvedených tabulek (**tab. 16 – 18**), u všech tří taveb se jednalo o tradiční způsob deaktivace strusky hliníkem a její ředění pomocí kazivce, který se dnes již nepoužívá. Místo něj se v současné době používají ředidla na bázi Al₂O₃. Optimální vápenatohlinitanové strusky mívají obsah CaO mezi 50 – 55 % hm. a obsah Al₂O₃ mezi 30 – 35 % hm. Tyto strusky mají nízkou teplotu tavení a vysokou pohltivost všech typů vměstků. Podmínkou funkčnosti strusek v současných agregátech mimopecní rafinace oceli je součet obsahů lehce redukovatelných oxidů (FeO, MnO) pod 1 % hm. Chemické složení strusek sledovaných taveb vypovídá o nedostatečném provedení deaktivace strusky během mimopecní rafinace oceli, o čemž svědčí i zvýšené obsahy FeO a MnO ve strusce, což je výhodné pro zpomalení procesu odsíření, ale bylo zřejmě i příčinou podkročení obsahu hliníku oproti DTP u tavby X_1 .

Tab. 19 Bazicita strusek taveb X_1 , X_2 a X_3 (CaO / SiO₂)

<i>Tavba</i>	<i>Kyslíkový konvertor</i>	<i>Argonovací stanice</i>	<i>Pánvová pec 1</i>	<i>Vakuovací stanice</i>	<i>Pánvová pec 2</i>
X_1	4,54	-	2,36	-	2,293
X_2	3,33	-	2,111	-	-
X_3	3,81	-	1,72	-	-

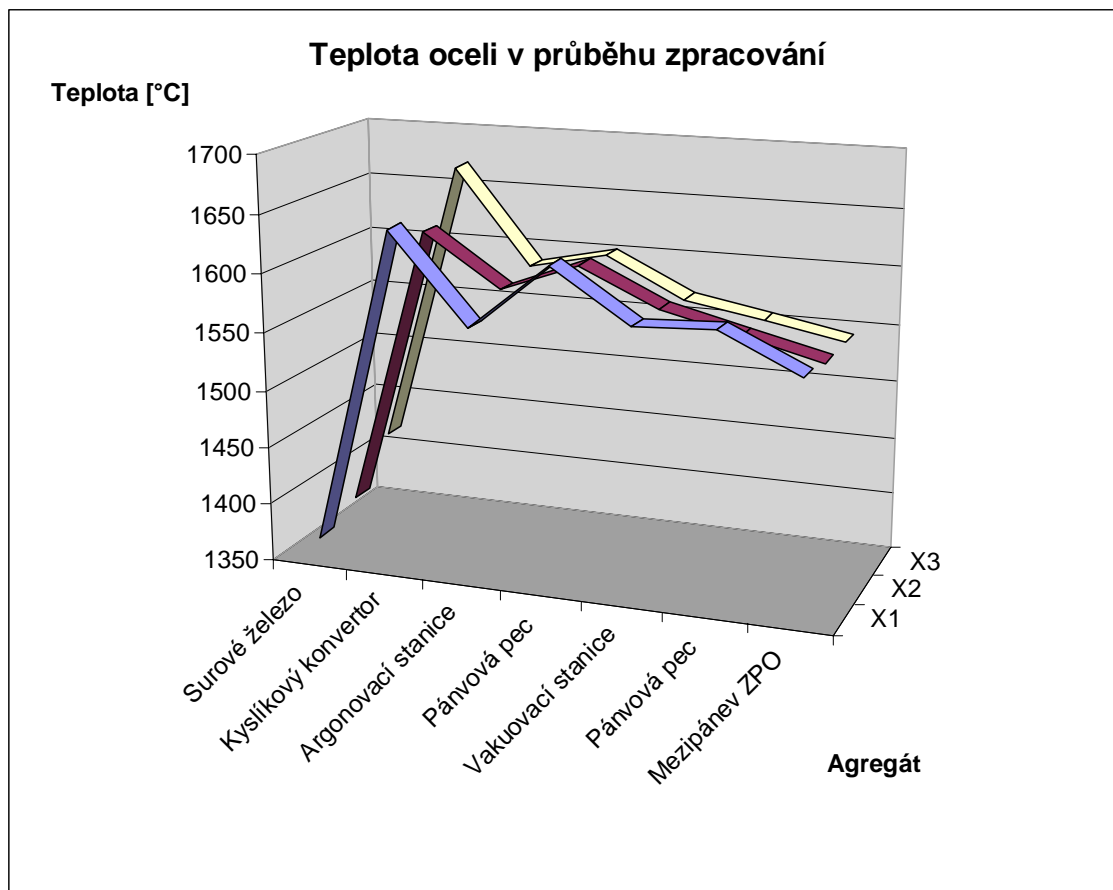
Z hlediska bazicity strusky v konvertoru měla nejprůhodnější hodnoty struska tavby X_2 , která byla nejkyslejší ($B = 3,33$) čímž nejpozitivněji působila na omezení procesu odsíření oceli a svým obsahem MgO (7,53 % hm.) byla rovněž použitelná pro následnou opravu vyzdívky konvertoru, tzv. „splashing“. Naopak z hlediska bazicity strusky na pánvové peci měla nejprůhodnější složení struska tavby X_3 .

11.4 Teplota oceli v průběhu zpracování

Tab. 20 Teplotní průběh sledovaných taveb, °C

<i>Tavba</i>	<i>$T_{likvidu}$</i>	<i>Surové železo</i>	<i>KK_{odpich}</i>	<i>Argonovací stanice</i>	<i>Pánvová pec</i>	<i>Vakuovací stanice</i>	<i>Pánvová pec</i>	<i>Mezipánev ZPO</i>
X_1	1493	1367	1641	1564	1622	1578	1581	1549
X_2	1492	1381	1625	1581	1607	1576	-	1543
X_3	1492	1420	1669	1587	1601	1568	-	1543

Z vývoje teplot sledovaných taveb je možno vidět, že přes počáteční rozdíly došlo k sjednocení teplot na pánvové peci. První sledovaná tavba měla teplotu po konečném ohřevu na pánvové peci vyšší, než následující dvě tavby, což je dáno jejím prvním pořadím v sekvenci, kdy si chladnější mezipánev vezme více tepla z tekuté oceli. Přes svou vyšší teplotu došlo u této tavby během vakuovacího procesu k vyššímu teplotnímu poklesu, než se předpokládalo a tavba musela být vrácena k opakovanému ohřevu na pánvovou pec. Následně byly všechny tři tavby bez problému odlity s přehřátím 51 – 56 °C nad teplotou likvidu.



Obr. 19 Graf průběhu vývoje teploty oceli sledovaných taveb v průběhu zpracování

11.5 Poměry mezi Ca, Al a S v průběhu zpracování

Tab. 21 Vývoj obsahu síry v oceli, % hm.

Tavba	Surové železo	Kyslíkový konvertor	Argonovací stanice	Pánvová pec	Vakuovací stanice	Konečná ocel
X_1	0,010	0,031	0,027	0,030	0,022	0,026
X_2	0,010	0,033	0,027	0,032	0,031	0,030
X_3	0,008	0,024	0,020	0,034	0,029	0,029

Obsah síry v surovém železe je vyrovnaný, drobný rozdíl nastává až při zpracování na kyslíkovém konvertoru. Nejvyšší obsah síry po odpichu z konvertoru měla tavba X_2 , což je způsobeno jednak sírou obsaženou v sázeném uhlí a antracitu u taveb X_1 a X_2 a jednak nejnižší bazicitou strusky u tavby X_2 (viz. **tab. 19**). U zbylých dvou taveb byl obsah síry nižší, než u dříve zmiňované tavby X_2 , což je dáno zřejmě vyšší bazicitou strusek těchto taveb (**tab. 19**).

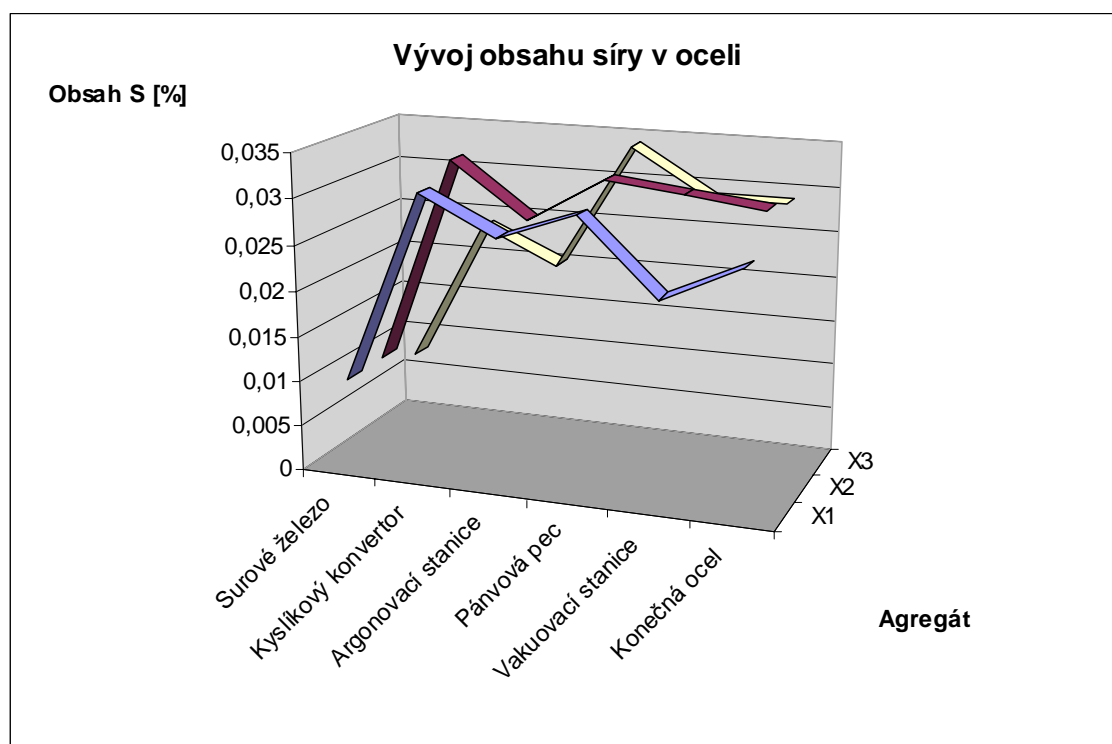
Nejvyšší bazicitu strusky dosáhla tavba X_1 , a to 4,5. Hlavní příčinou je velké množství přidávaného vápna, kterého bylo do kyslíkového konvertoru přidáno přibližně o 300 kg více, než u tavby X_2 . Množství přidávaných materiálu je možno vidět

v tavebních listech, viz. příloha. Nejnižší obsah síry měla tavba X_3 a to i přesto, že bazicita struska zdaleka nedosahovala hodnoty tavby X_1 .

V průběhu homogenizace na argonovací stanici došlo k mírnému poklesu obsahu síry u všech tří taveb. Příčinou je reakce mezi sírou v tekuté lázni a CaO ve strusce.

Během dalšího zpracování na pánvové peci byly tavby legovány plněným profilem síry a její obsah se sjednotil v rozmezí 0,03 % hm. – 0,034 % hm., viz. **tab. 21**. Hodnota bazicity strusek se zde pohybovala v rozmezí 1,72 – 2,36. Nejvyšší bazicitu strusky měla tavba X_1 (2,36) což byl zřejmě důvod poklesu obsahu síry v této tavbě z 0,03 % hm. až na 0,022 % hm. během vakuovacího procesu a tavba proto musela být během opětovného zpracování na pánvové peci nejen ohřátá, ale rovněž znovu nalegovaná sírou ve formě plněného profilu.

Konečný obsah síry ve sledovaných tavbách už se pohyboval v relativně úzkém rozmezí a to od 0,026 % hm. - 0,03 % hm.

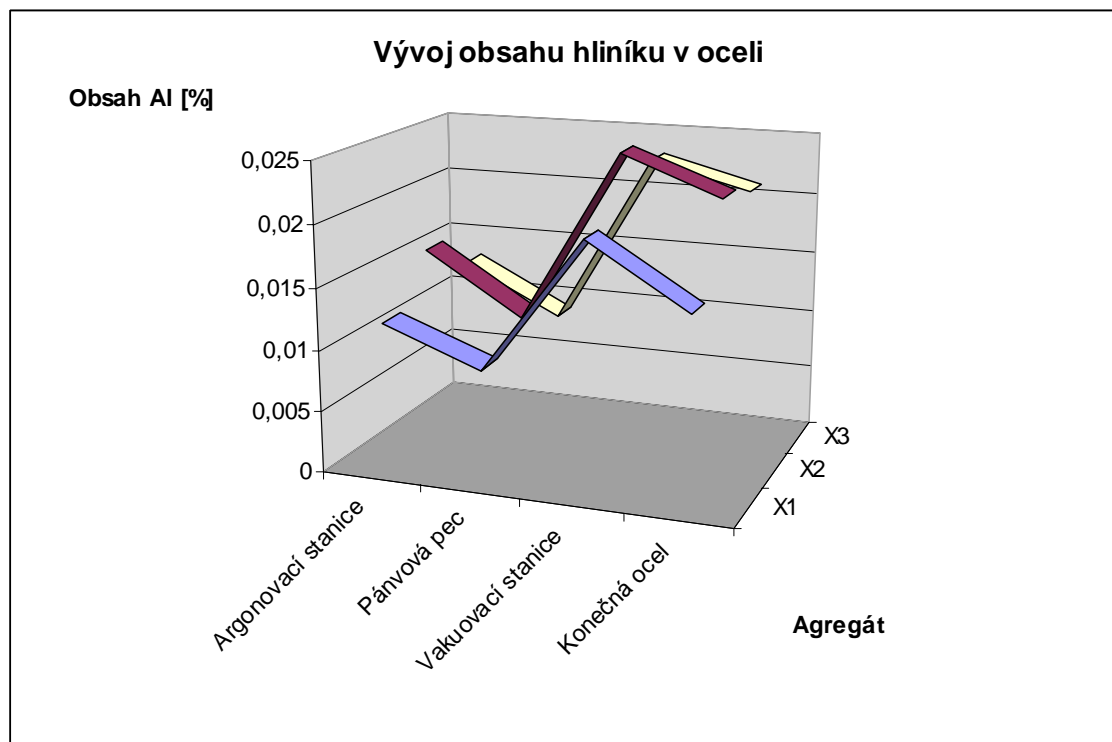


Obr. 20 Graf průběhu vývoje obsahu síry v oceli u sledovaných taveb v průběhu zpracování

Tab. 22 Vývoj obsahu hliníku v oceli, % hm.

Tavba	Argonovací stanice	Pánvová pec	Vakuovací stanice	Konečná ocel
X_1	0,012	0,009	0,020	0,015
X_2	0,016	0,011	0,025	0,022
X_3	0,013	0,009	0,023	0,021

Vývoj obsahu hliníku byl u všech tří taveb obdobný, k jeho nalegování do oceli došlo až na vakuovací stanici pomocí granulovaného hliníku. Z hlediska jeho obsahu v oceli byl hliník v průběhu celé tavby nejvyšší u tavby X_2 , naopak nejnižší u tavby X_1 , kdy došlo dokonce k podkročení jeho minim. obsahu daného DTP, viz. **tab. 22**.



Obr. 21 Vývoj obsahu hliníku v oceli

Tab. 23 Poměr obsahů Ca / Al, 1

<i>Tavba</i>	<i>Pánvová pec</i>	<i>Vakuovací zařízení</i>	<i>ZPO</i>
X_1	0,2118	0,1450	0,1533
X_2	0,0909	0,1200	0,0864
X_3	0,0444	0,1044	0,0762

Poměr Ca / Al vykazuje ve finální analýze vysoké hodnoty, a to 0,1533 u tavby X_1 při celkovém obsahu vápníku 0,0023 % hm., 0,0864 u tavby X_2 při celkovém obsahu vápníku 0,0019 % hm. a 0,0762 u tavby X_3 při celkovém obsahu vápníku 0,0016 % hm. (viz. **tab. 23**).

Tab. 24 Poměr obsahů Ca / S, 1

<i>Tavba</i>	<i>Pánvová pec</i>	<i>Vakuovací zařízení</i>	<i>ZPO</i>
X_1	0,1200	0,1318	0,0885
X_2	0,0313	0,0968	0,0633
X_3	0,0117	0,0828	0,0552

Podobně jako poměr Ca / Al je na tom i poměr Ca / S, který uvádí vysoké hodnoty 0,0885 u tavby X₁, 0,0633 u tavby X₂ a 0,0552 u tavby X₃ (viz. **tab. 24**). Díky vysokému obsahu vápníku, zejména u tavby X₁ (0,0023 % hm.) se dle diagramu na **obr. 7** dostáváme mimo hranici tekutého okna pro vznik tekutých hlinitanů vápenatých. Tyto vysoké hodnoty vápníku pomohly ke vzniku vměstků CaS u sledovaných taveb, např. viz. **obr. 44 a 48**. U tavby X₁ mohlo být hlavním důvodem vysokého obsahu vápníku přidání velkého množství vápníku ve formě CaSi (celkem 77 kg, což tvoří 0,42 kg / t). Pro zamezení vzniku vměstků CaS by se mělo celkové množství přidávaného vápníku snížit na 40 až 50 kg dle hmotnosti tavby, což by mělo činit přibližně 0,26 kg / t oceli.

11.6 Mikročistota taveb oceli jakosti C35RKL

Vzorky pro zjištění metalografické čistoty oceli byly odebírány ve stejnou dobu jako vzorky určené k chemické analýze. Hlavní rozdíl však spočíval v technologii odběru. Vzorky se odebíraly ponorným vzorkovačem bez použití uklidňovače. Odebrané vzorky se musely urychleně zchladit ve vodě, aby došlo k potlačení vzniku MnS vměstků, které vznikají při tuhnutí oceli.

Na každém ze vzorků byl proveden metalografický výbrus z tenčí části v blízkosti rozšíření, na kterém byla posléze provedena obrazová analýza oxidických vměstků, kde se sledovala celková hustota vměstků ve sledované ploše a celkový počet vměstků na sledované ploše.

Z vybraných vzorků byly vybrány 1 až 3 vměstky, které byly označeny a analyzovány na rastrovacím elektronovém mikroskopu Hitachi. Cílem bylo zjistit chemické složení všech viditelných fází přítomných ve vměstcích.

Tab. 25 Označení odebraných vzorků

<i>Vzorek odebraný:</i>	<i>Tavba X₁</i>	<i>Tavba X₂</i>	<i>Tavba X₃</i>
<i>Po zpracování na pánvové peci</i>	A ₁	B ₁	C ₁
<i>Na vakuovací stanici po modifikaci CaSi</i>	A ₂	B ₂	C ₂
<i>Z mezipánve ZPO</i>	A ₃	B ₃	C ₃

U všech vzorků byla provedena automatická analýza vměstků - na každém vzorku bylo analyzováno 36 polí velikosti 0,25x0,25 mm, celková analyzovaná plocha činila 2,25 mm². Z chemického složení vměstků byly hodnoceny oxidy, které byly vyneseny do ternárního diagramu CaO+MnO+MgO – SiO₂ – Al₂O₃ (diagramy jsou v příloze viz. **obr. 34 až 42**). Tyto ternární diagramy ukazují změnu v chemickém složení oxidů v jednotlivých vzorcích v průběhu tavby.

V **tab. 26** jsou uvedeny údaje o hustotě oxidických vměstků na ploše 1 cm² a počtu nalezených oxidických vměstků dle velikostních skupin v jednotlivých vzorcích na ploše 2,25 mm².

Tab. 26 Analýza celkové hustoty a počtu oxidických vměstků u jednotlivých vzorků

Vzorek	Celkový počet vměstků na ploše 1 cm ²	Počet vměstků na ploše 2,25 mm ²												Celkový počet vměstků
		1 μm	2 μm	3 μm	4 μm	5 μm	6 μm	7 μm	8 μm	9 μm	10 μm	>>		
A _I	622	8	2	2	1							1	14	
B _I	622	2	10	2									14	
C _I	578	5	6		1	1							13	
A ₂	356	1	7										8	
B ₂	267	1	3	2									6	
C ₂	622	5	3	5								1	14	
A ₃	533	1	3	5	2	1							12	
B ₃	356	1	3	3	1								8	
C ₃	622	5	5	2	1	1							14	

Z tab. 26 lze usoudit, že v oceli všech tří taveb se během celého výrobního mimopecního zpracování vyskytuje co do počtu nejvíce vměstků velikosti do 2 μm. Nejlépe ze všech dopadla v tomto směru tavba X₂, která sice zpočátku, na pánvové peci, dosahovala spolu s tavbou X₁ největší hustoty vměstků, ale posléze v průběhu dalšího zpracování se hustota vměstků snížila a až do konce procesu výroby si udržela velice nízké hodnoty.

Na ternárních diagramech je patrná změna v chemickém složení oxidických vměstků v jednotlivých fázích rafinace oceli v pánvi.

Tab. 27 Elementární chemické složení nekovových vměstků v mezipánvi, % hm.

A ₃ - 66 NKV		Rozměr	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Mn	Ca/Al	Ca/S
Průměr		3,39	10,27	1,01	7,29	0,44	0,04	14,47	21,20	1,86	2,91	1,47
Rozmezí	min.	0,83	0	0	0	0	0	0	0	0	■	■
	max.	15,44	35,21	4,15	31,58	2,04	0,26	38,90	47,47	9,90	1,50	1,22
B ₃ - 64 NKV		Rozměr	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Mn	Ca/Al	Ca/S
Průměr		2,05	8,31	0,61	7,62	0,34	0,04	9,82	13,47	1,98	1,77	1,37
Rozmezí	min.	0,83	0,19	0	0,17	0,03	0	0,57	0	0	■	■
	max.	5,36	31,88	3,04	31,14	0,88	0,23	23,32	32,95	9,79	1,06	1,41
C ₃ - 58 NKV		Rozměr	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Mn	Ca/Al	Ca/S
Průměr		1,77	10,08	0,69	9,75	0,37	0,04	9,11	14,08	1,19	1,44	1,55
Rozmezí	min.	0,83	0,49	0	0	0	0	0	0	0	■	■
	max.	7,39	37,06	7,44	28,89	1,17	0,20	29,38	40,38	7,02	1,40	1,37

Na počátku rafinace v pánvové peci se ve vzorcích oceli A₁, B₁ a C₁ nacházejí hlinitokřemičitany vápenaté se širokým rozsahem oxidů CaO+MgO+MnO, SiO₂, Al₂O₃. Ve vzorcích B₁ a C₁ převládají hlinitany vápenaté spolu s několika málo vměstků s vyšším podílem SiO₂. Naopak ve vzorku A₁ je podíl vměstků s vyšším obsahem SiO₂ větší. V těchto vápenatohlinitanových vměstcích je přibližně od 5 do 10 % hm. SiO₂, u vměstků s vyšším podílem SiO₂ pak až kolem 50 % hm.

Ve vzorcích A_2 , B_2 a C_2 došlo v ternárním diagramu po přidání CaSi na vakuovém zařízení k posunutí rovnovážného složení komplexního oxidu ještě více k vrcholům CaO a Al_2O_3 . Podíl CaO v modifikovaných vměstcích vzrostl.

Ve vzorcích A_3 , B_3 a C_3 je obsah SiO_2 kolem 5 % hm. a kolem 60 % hm. až 70 % hm. Al_2O_3 . Složení vměstků u těchto tří vzorků je u všech tří taveb podobné.

Průměrné chemické složení vměstků ze vzorků odebraných z mezipánve u jednotlivých taveb (A_3 , B_3 , C_3), stejně jako poměry Ca/Al a Ca/S jsou uvedeny v následující **tab. 27**.

Poměr Ca/Al je u vměstků vzorků A_3 , B_3 a C_3 v rozmezí 1,44 až 2,91. To znamená, že obsah CaO a Al_2O_3 ve vměstcích se nachází v oblasti existence hlinitanů vápenatých typu $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ (poměr Ca/Al = 1,27) až $3CaO \cdot Al_2O_3$ (poměr Ca/Al = 2,22), a dokonce v oblasti existence tuhého roztoku CaO v $3CaO \cdot Al_2O_3$, který obsahuje 68 % hm. CaO a 32 % hm. Al_2O_3 (poměr Ca/Al = 2,91). Při teplotách 1540 – 1550 °C se tedy jedná o tekuté i tuhé vměstky. Poměr mezi obsahy Ca a Al ve vměstcích v utuženém stavu je u všech tří taveb v relaci (cca 20 x větší) s poměrem obsahu Ca a Al v tekutém kovu, viz. **tab. 23** (tavba A: 19,0; tavba B: 20,6; tavba C: 18,9)

Samostatné vměstky CaS v oceli obsahující 0,026 – 0,030 % hm. síry a 0,0016 – 0,0023 % hm. vápníku (viz. **tab.15**) vznikat nemohou, protože podmínkou jejich vzniku je při tomto obsahu síry poměr Ca/S větší než 0,7 – 1,6, zatímco dosahované poměry Ca/S byly u oceli $X_1 = 0,088$, u oceli $X_2 = 0,063$ a u oceli $X_3 = 0,055$ (viz **tab.24**).

Fázová analýza viditelných fází vybraných vměstků byla provedena pouze u vzorků A_3 , B_3 a C_3 (viz. **tab. 28**), tzn. u vzorků, odebraných z mezipánve. Vybrané vměstky těchto vzorků byly analyzovány a fotograficky dokumentovány (viz. **obr. 43 až 48**).

Tab. 28 Výsledky mikroanalýzy vzorků A_3 , B_3 a C_3

Vzorek	Vměstek	Popis	Mg	Al	Si	S	Ca	K	Ti	Mn	O
			[hm. % hm.]								
A_3	A_{31}	základ	0,0	34,8	1,1	2,1	31,4	1,7	0,2	0,7	28
		světlejší	0,0	31,1	0,9	10,8	39,6	1,5	0,3	1,0	15
	A_{32}	tmavší	0,2	34,1	1,3	2,4	33,0	1,9	0,1	0,5	27
		světlejší	0,0	0,0	0,0	36,2	58,5	0,3	0,0	0,0	5
B_3	B_{31}	základ 1	0,0	3,2	24,5	1,3	0,8	0,5	0,7	50,7	18
		základ 2	0,0	2,8	24,4	1,6	0,6	0,7	0,3	52,5	17
	B_{32}	tmavší	13,4	55,0	0,0	0,0	1,4	0,1	0,3	0,0	30
		světlejší	0,0	34,9	0,0	0,6	39,0	0,8	0,4	0,0	24
C_3	C_{31}	základ	11,8	53,7	0,0	0,2	2,2	0,0	0,0	0,9	31
		kraj	1,0	41,0	0,1	3,5	23,8	3,0	0,2	1,2	26
	C_{32}	tmavší	0,0	33,3	0,0	7,5	27,1	0,6	0,0	5,0	27
		světlejší	0,0	3,7	0,0	32,5	49,6	0,2	0,0	8,7	5

Základ vměstku A_{31} (**obr. 43**) je tvořen komplexním oxidem $CaO \cdot Al_2O_3$. Na kraji se vyskytuje malá světlá skvrna, která obsahuje zejména sulfid CaS a rozpuštěný v oxidu $CaO \cdot Al_2O_3$. Vměstek A_{32} (**obr. 44**) má obdobné chemické složení jako vměstek A_{31} , ovšem vyskytuje se zde mnohem větší podíl sulfidu CaS.

Zřejmě tekutý vměstek B_{31} (**obr. 45**) je čistě homogenní. Obsahuje zejména oxidy MnO a SiO_2 . Vměstek B_{32} (**obr. 46**) patří mezi typické modifikované globulární vměstky. Tmavší část je tvořena spinelem $MgO \cdot Al_2O_3$, obalena světlejší fází, kterou tvoří komplexní oxid $CaO \cdot Al_2O_3$.

Vměstek C_{31} (**obr. 47**) je chemickým složením podobný vměstku B_{32} , to znamená spinelové jádro je obaleno hlinitanem vápenatým s nižším obsahem CaO . Vměstek C_{32} (**obr. 48**) je částečně modifikovaný vápníkem (tmavší fáze), ale rovněž se zde vyskytuje také velký podíl sulfidu CaS (světlejší fáze).

11.7 Dílčí závěr

Z výsledků analýz sledovaných taveb jakosti C35RKL vyplývá:

- Ani u jedné ze tří sledovaných taveb nedošlo k zatažení výlevek.
- Všechny tavby byly zpracovány standardním postupem, pouze první startovní tavba byla v důsledku většího poklesu teploty během vakuování vrácena k opětovnému ohřevu na pánvovou pec.
- Síra byla do oceli legována ve formě plněného profilu během zpracování na pánvové peci, vápník pak ve formě plněného profilu $CaSi$ na závěr zpracování na vakuovací stanici.
- Struskový režim všech tří taveb byl rovněž standardní, ovšem deaktivace strusky během mimopecní rafinace oceli byla zřejmě záměrně nedostatečná, o čemž svědčí i zvýšené obsahy FeO a MnO ve strusce, což je výhodné pro zpomalení procesu odsíření, ale bylo zřejmě i příčinou podkročení obsahu hliníku oproti DTP u tavby X_1 .
- Z hlediska bazicity strusky v kyslíkovém konvertoru, zabráňující odsíření, měla nejnižší bazicitu struska tavby X_2 ($B = 3,33$), naopak z hlediska bazicity strusky na pánvové peci měla nejnižší bazicitu struska tavby X_3 ($B = 1,72$). Rozmezí bazicit se pohybovalo v rozmezí $3,33 - 4,54$ v kyslíkového konvertoru a $1,72 - 2,36$ na pánvové peci. Na vakuovací stanici nebylo chemické složení strusky stanoveno.
- Teploty ocelí nedosahovaly po zpracování na pánvové peci žádných výrazných rozdílů. Pouze první tavba X_1 musela v důsledku vyššího poklesu teploty na vakuovací stanici vrácena k opětovnému přehřevu. Teploty oceli se pohybovaly v požadovaném rozmezí nad $1520\text{ }^{\circ}\text{C}$, nejčastěji však mezi teplotami 1540 a $1550\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Z hlediska vývoje obsahu síry v oceli byla nejstabilnější tavba X_2 , protože její celkový průběh nezaznamenal žádné větší výkyvy.
- Poměry Ca / Al vykazují ve vměstcích mnohonásobně vyšší hodnoty (cca 20 x vyšší) než v tekuté oceli. Tyto poměry jsou u všech sledovaných taveb téměř konstantní. Nejvyšší stupeň modifikace dosáhla tavba X_1 , kde poměr Ca / Al vykazuje nejvyšší hodnotu 0,1533 v tekuté oceli a 2,91 ve vměstcích, naopak nejnižší stupeň modifikace vměstků dosáhla tavba X_3 , kde je poměr Ca / Al nejnižší a to 0,0762 v tekuté oceli a 1,44 ve vměstcích.
- Největší zastoupení v oceli měly vměstky o velikosti do $2\text{ }\mu\text{m}$. V tomto ohledu byla nejprůzračnější tavba X_2 , u které, i přes počáteční vysoké zastoupení těchto

vměstků, byl nakonec jejich počet ve finálním odebraném vzorku výrazně nižší, než u zbývajících dvou taveb.

- Z hlediska chemického složení nekovových vměstků převládaly ve vzorcích odebraných na pánvové peci hlinitany vápenaté spolu s několika vměstkami s vyšším podílem SiO_2 . Postupně během zpracování oceli došlo k posunutí chemického složení nekovových vměstků více na stranu $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ a rostl rovněž celkový podíl CaO v těchto vměstcích.
- Z pohledu chemického složení finálních vměstků nalezených ve vzorcích odebraných z mezipánve ZPO se vyskytovaly hlinitany vápenaté typu $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ až $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ a dokonce i tuhý roztok CaO v $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Chemické složení vměstků všech tří taveb ve vzorcích odebraných z mezipánve ZPO je podobné.
- Samostatné vměstky CaS se v oceli nevyskytly, fáze CaS se vylučovala pouze na již existujícím vměstku.

12 MODIFIKACE NEKOVOVÝCH VMĚSTKŮ OCELÍ TRŽIDY 30MnVS6 POMOCÍ VÁPNIKU VE FORMĚ CaCN_2

12.1 Popis experimentu

Obdobně jako u experimentálních taveb, u kterých byl vápník přidáván do oceli pouze ve formě plněného profilu CaSi , i u druhé sekvence sledovaných taveb, kdy byl vápník do oceli přidáván převážně ve formě plněného profilu CaCN_2 byla vytipována jakost typická pro legování touto přísadou. Jednalo se o mikrolegovanou jakost 30MnVS6.

Základní údaje o jednotlivých tavných byly opět získány z tavebních listů, získaných na jednotlivých stanovištích výrobního cyklu (viz. **obr. 49 - 57**). V jeho průběhu byly opět odebírány vzorky oceli. Technologie jejich odběru byla stejná jako v předešlém případě. Vzorky byly opět odebírány ponorným vzorkovačem, následně prudce zchlazeny ve vodě k potlačení vzniku sulfidických vměstků a odeslány k analýze do metalografické laboratoře.

Sledovány byly opět tři tavby oceli (tavby č. 51731 - dále označována jako Y_1 , č. 51732 - dále označována jako Y_2 , č. 51733 - dále označována jako Y_3)

12.2 Vývoj chemického složení sledovaných taveb jakosti 30MnVS6

Požadované chemické složení všech tří taveb oceli jakosti 30 MnVS6 již bylo uvedeno dříve v **tab. 6** na **str.6**.

V **tab. 29** je uvedeno chemické složení surového železa před jeho nalitím do kyslíkového konvertoru.

Tab. 29 Chemické složení surového železa, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
Y_1	4,636	0,46	0,71	0,091	0,011
Y_2	4,646	0,46	0,73	0,088	0,010
Y_3	4,624	0,45	0,82	0,087	0,008

Během zpracování v kyslíkovém konvertoru byla do oceli opět přidávána řada struskotvorných přísad. Jejich množství a typ je opět možno vidět v tavebních listech, které jsou uvedeny v příloze, **obr. 49, 52 a 55**. Chemická analýza oceli po zpracování v kyslíkovém konvertoru je uvedena v **tab. 30**.

Ocel, odpíchnutá z kyslíkového konvertoru do lící pánve, byla dále zpracovaná v technologickém cyklu uvedeném v **kap. 2.5**. Do lící pánve bylo před odpichem opět přidáno množství struskotvorných přísad, zejména pak vápno, granulovaný hliník, FeSiMn , FeSi atd. Přidávané množství je opět možno vidět v tavebních listech.

Tab. 30 Chemické složení oceli před odpichem z kyslíkového konvertoru, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>
<i>Y₁</i>	0,084	0,16	0,005	0,027	0,030	0,06	0,05
<i>Y₂</i>	0,042	0,08	0,005	0,017	0,024	0,05	0,04
<i>Y₃</i>	0,056	0,11	0,005	0,019	0,028	0,06	0,05
<i>Tavba</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>W</i>	<i>V</i>	<i>As</i>	<i>Sn</i>	<i>Co</i>
<i>Y₁</i>	0,02	0,008	0	0,001	0,003	0,004	0,002
<i>Y₂</i>	0,02	0,005	0	0,001	0,004	0,004	0,002
<i>Y₃</i>	0,03	0,007	0	0,001	0,004	0,005	0,002

Po odpichu z kyslíkového konvertoru byly tavby zpracovány na argonovací stanici, kde došlo k jejich teplotní a chemické homogenizaci a opět byl přidán granulovaný hliník k dezaktivaci strusky. Chemické složení oceli po této homogenizaci je uvedeno v **tab. 31**.

Tab. 31 Chemické složení oceli po zpracování na argonovací stanici, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>
<i>Y₁</i>	0,244	1,17	0,342	0,017	0,022	0,05	0,04
<i>Y₂</i>	0,225	1,12	0,346	0,016	0,018	0,04	0,03
<i>Y₃</i>	0,239	1,13	0,328	0,016	0,019	0,05	0,04
<i>Ni</i>	<i>Al</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Sn</i>	<i>B</i>	<i>N</i>
0,03	0,007	0,009	0,100	0,0018	0,003	0,0002	0,0062
0,03	0,015	0,005	0,097	0,0020	0,003	0,0002	0,0094
0,03	0,005	0,007	0,089	0,0018	0,004	0,0002	0,008

Po zpracování oceli na argonovací stanici byly tavby převezeny k dalšímu zpracování na pánvovou pec. Zde došlo k jejich konečnému dolegování na požadované obsahy prvků a teplotnímu ohřevu na požadovanou odjezdovou teplotu. Z legovacích přísad zde byl během zpracování přidáván zejména již zmíněný plněný profil CaCN_2 (0,73 kg / t oceli u tavby *Y₁* respektive 0,67 kg / t oceli u tavby *Y₃*), který do oceli dodává nejen vápník, ale rovněž v tomto případě legující dusík. Výjimku tvořila tavba *Y₂*, kde došlo k odlišnému způsobu nadusičení oproti zbývajícím dvěma tavbám *Y₁* a *Y₃*. Dusík byl vpravován do oceli především pomocí dusíkatého FeMn. Dusíkatého vápna se v této tavbě použilo velice málo (jen 0,2 kg CaCN_2 / t oceli). Množství jednotlivých dusíkatých přísad je možno nalézt v příloze, **obr. 50, 53 a 56**. Z dalších přísad to pak byly do oceli přidány FeMn, FeSiMn a zejména plněný profil síry. Během celé doby zpracování byl do oceli přes porézní tvárnici dmýchán argon.

V průběhu tavby byly z každé sledované tavby odebrány dva vzorky, vždy před a po přidání CaCN_2 . Chemická analýza oceli je uvedena v **tab. 32**.

Tab.32 Chemické složení oceli po zpracování na pánvové peci, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Al</i>
<i>Y₁</i>	0,268	1,25	0,293	0,018	0,024	0,05	0,04	0,03	0,005
<i>Y₂</i>	0,265	1,41	0,351	0,017	0,042	0,05	0,04	0,03	0,007
<i>Y₃</i>	0,263	1,32	0,299	0,017	0,025	0,06	0,05	0,03	0,004
<i>Tavba</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Sn</i>	<i>B</i>	<i>Ca</i>	<i>N</i>	<i>Nb</i>	<i>Sb</i>
<i>Y₁</i>	0,009	0,098	0,0018	0,003	0,0002	0,0037	0,0137	0,002	0,003
<i>Y₂</i>	0,007	0,098	0,0021	0,003	0,0003	0,0012	0,0125	0,002	0,004
<i>Y₃</i>	0,008	0,091	0,0021	0,005	0,0002	0,0035	N.A.	0,003	0,004

Po zpracování na pánvové peci následovalo opět odplynění oceli na vakuovací stanici typu RH spojené s drobnou korekcí chemického složení. Jednalo se o drobné přídavky plněného profilu CaSi a síry. U první a třetí tavby bylo přidáno i větší množství FeSi a FeSiMn, u všech tří pak došlo rovněž k nalegování FeTi a proběhla konečná dezoxidace hliníkem. Rovněž byl ze všech taveb odebrán třetí testovací vzorek. Chemická analýza oceli po ukončení vakuování je uvedena v **tab. 33**.

Tab. 33 Chemické složení oceli po zpracování na vakuovací stanici, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Al</i>
<i>Y₁</i>	0,285	1,33	0,338	0,018	0,029	0,05	0,05	0,03	0,024
<i>Y₂</i>	0,27	1,43	0,360	0,018	0,024	0,05	0,04	0,03	0,025
<i>Y₃</i>	0,286	1,36	0,356	0,017	0,025	0,06	0,05	0,03	0,024
<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>Sn</i>	<i>B</i>	<i>Ca</i>	<i>H</i>	<i>N</i>	<i>Nb</i>	<i>Sb</i>
0,01	0,094	0,0254	0,003	0,0002	0,0017	1,9	0,0101	0,003	0,004
0,008	0,098	0,0288	0,003	0,0002	0,0017	1,9	0,0097	0,003	0,005
0,009	0,098	0,0282	0,005	0,0002	0,0019	1,8	0,0118	0,003	0,004

Ocel se lila z licí pánve do mezipánve, kde se námi odebral čtvrtý (poslední) vzorek. Parametry oceli a licího stroje jsou uvedeny v příloze, **obr. 51, 54 a 57**. V **tab. 34** je uvedena finální analýza oceli.

Z vývoje chemického složení všech 3 taveb je možno vidět, že převážná část legování byla opět provedena v licí pánvi při odpichu z kyslíkového konvertoru. Na pánvové peci pak došlo k nalegování zejména FeMn, plněného profilu síry a rovněž plněného profilu CaCN₂, čímž došlo k nejen nalegování oceli dusíkem, ale rovněž vápníkem, čímž došlo k modifikaci hlinitanových vměstků. Na vakuovací stanici pak došlo k nalegování oceli FeTi a drobné korekci chemického složení taveb. Obsahu vápníku byl upraven plněným profilem CaSi. U první a třetí tavby byl rovněž dolegován křemík pomocí FeSi a FeSiMn.

Tab. 34 Finální chemické složení sledovaných taveb jakosti 30MnVS6, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Al</i>
<i>Y₁</i>	0,292	1,37	0,348	0,018	0,029	0,05	0,06	0,03	0,022
<i>Y₂</i>	0,278	1,42	0,352	0,017	0,024	0,05	0,05	0,03	0,021
<i>Y₃</i>	0,286	1,38	0,354	0,017	0,026	0,06	0,06	0,03	0,021
<i>Tavba</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>	<i>Ti</i>	<i>As</i>	<i>Sn</i>	<i>B</i>	<i>Ca</i>	<i>N</i>	<i>Nb</i>
<i>Y₁</i>	0,008	0,089	0,0243	0,004	0,004	0,0002	0,0017	0,0119	0,003
<i>Y₂</i>	0,005	0,088	0,0249	0,004	0,004	0,0002	0,0018	0,0115	0,003
<i>Y₃</i>	0,007	0,090	0,0262	0,003	0,005	0,0002	0,0019	0,0125	0,003

12.3 Vývoj chemického složení a bazicity strusky

Tab. 35 Chemické složení strusky v konvertoru, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>Fe</i>	<i>CaO</i>	<i>SiO₂</i>	<i>MgO</i>	<i>MnO</i>	<i>S</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>Cr₂O₃</i>	<i>TiO₂</i>
<i>Y₁</i>	29,1	33,8	9,5	10,23	4,56	0,06	1,01	1,07	0,26
<i>Y₂</i>	25,5	32,9	13,2	12,60	5,06	0,05	1,10	0,75	0,34
<i>Y₃</i>	28,5	33,4	9,2	10,04	4,45	0,06	0,96	1,07	0,25

Tab. 36 Chemické složení strusky po ohřevu na pánvové peci, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>Fe</i>	<i>MnO</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>S</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>Cr₂O₃</i>	<i>TiO₂</i>	<i>CaF₂</i>
<i>Y₁</i>	1,1	2,34	28,4	14,8	37,7	8,14	0,15	0,01	0,02	0,64	1,1
<i>Y₂</i>	1,0	2,72	26,9	15,4	39,2	7,19	0,15	0,01	0,02	0,71	1,3
<i>Y₃</i>	1,3	2,51	26,8	15,1	38,2	9,16	0,13	0,01	0,26	0,67	0,9

Tab. 37 Chemické složení strusky na výstupu z vakuovacího zařízení, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>Fe</i>	<i>MnO</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>S</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>Cr₂O₃</i>	<i>TiO₂</i>	<i>CaF₂</i>
<i>Y₁</i>	0,7	2,15	27,7	14,19	38,4	8,73	0,16	0,02	0,03	0,78	0,6
<i>Y₂</i>	0,6	2,30	27,0	16,0	38,8	7,93	0,15	0,01	0,02	0,84	1,2
<i>Y₃</i>	1,2	0,96	27,4	10,5	41,7	11,39	0,31	0,04	0,10	0,44	1,5

Jak je možno vyčíst z výše uvedených tabulek (**tab. 35 – 37**), u všech tří taveb se opět jednalo o tradiční způsob deaktivace strusky hliníkem a její ředění pomocí kazivce. Z hlediska bazicity strusky se pracovalo s kyselejší struskou, než u taveb jakosti C35RKL, nejen v kyslíkovém konvertoru, ale zejména v průběhu mimopecní rafinace oceli. Zatímco bazicita v kyslíkovém konvertoru se liší jen nepatrně (C35RKL 3,33 až 4,54; 30MnVS6 2,50 až 3,65), u mimopecní rafinace už je rozdíl v hodnotě bazicity strusky výraznější (C35RKL 1,72 až 2,293; 30MnVS6 1,33 až 1,52).

U tavby Y_2 můžeme vidět vyšší obsah SiO_2 ve strusce. Z tohoto důvodu je také bazicita tavby Y_2 v konvertoru nejnižší ze všech tří sledovaných viz **tab. 38**. Rovněž obsah MgO , zahušťující strusku a omezující míru odsíření, dosahuje u tavby Y_2 největší podíl (12,6 % hm.) viz. **tab. 35**. V důsledkem těchto skutečností by měla mít tavba Y_2 vyšší podíl síry, než u zbylé dvě tavby Y_1 a Y_3 , ale obsah síry v tavbě Y_2 paradoxně nejnižší (0,024 % hm.), viz. **tab. 40**. Důvodem je vyšší podíl ocelového odpadu s obsahem síry 0,020 % hm. zatímco u surového železa je obsah síry 0,010 %hm.

Tab. 38 Bazicita strusek taveb Y_1 , Y_2 a Y_3 ($\text{CaO} / \text{SiO}_2$)

Tavba	Kyslíkový konvertor	Argonovací stanice	Pánvová pec	Vakuovací stanice
Y_1	3,55	-	1,33	1,38
Y_2	2,50	-	1,46	1,44
Y_3	3,65	-	1,43	1,52

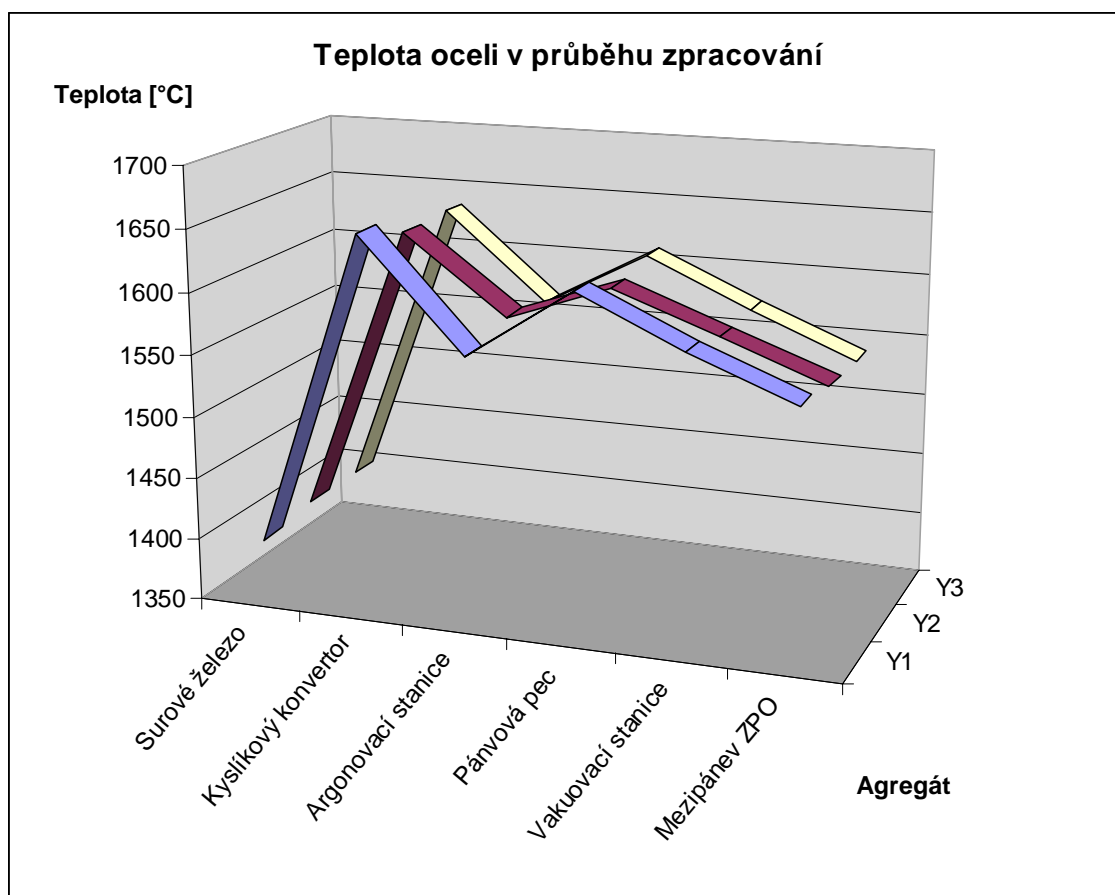
Na argonovací stanici byla struska redukována hliníkem. Z hlediska bazicity strusky na pánvové peci měla naopak nejpříhodnější složení struska tavby Y_1 , která byla nejméně bazická nejen zde, ale i dále během zpracování na vakuovací stanici. Nicméně rozdíl v bazicitě strusek všech tří sledovaných taveb byl jen nepatrný, od zpracování na pánvové peci byly jejich hodnoty téměř vyrovnané.

12.4 Teplota oceli v průběhu zpracování

Tab. 39 Teplotní průběh sledovaných taveb, °C

Tavba	T_{likvidu}	Surové železo	KK_{odpich}	Argonovací stanice	Pánvová pec	Vakuovací stanice	Mezipánev ZPO
Y_1	1495	1395	1651	1562	1620	1581	1548
Y_2	1497	1401	1635	1573	1603	1572	1541
Y_3	1496	1401	1636	1565	1611	1573	1539

Z hlediska průběhu teplot sledovaných taveb jakosti 30MnVS6 je možno vidět, že nedošlo k žádnému teplotnímu výkyvu, vývoj teplot jednotlivých taveb je téměř identický. První tavba je o něco teplejší, jelikož se jednalo o první tavbu v sekvenci. Všechny tři tavby byly bez problému odlity s přehřátím 43 – 53 °C nad teplotou likvidu.



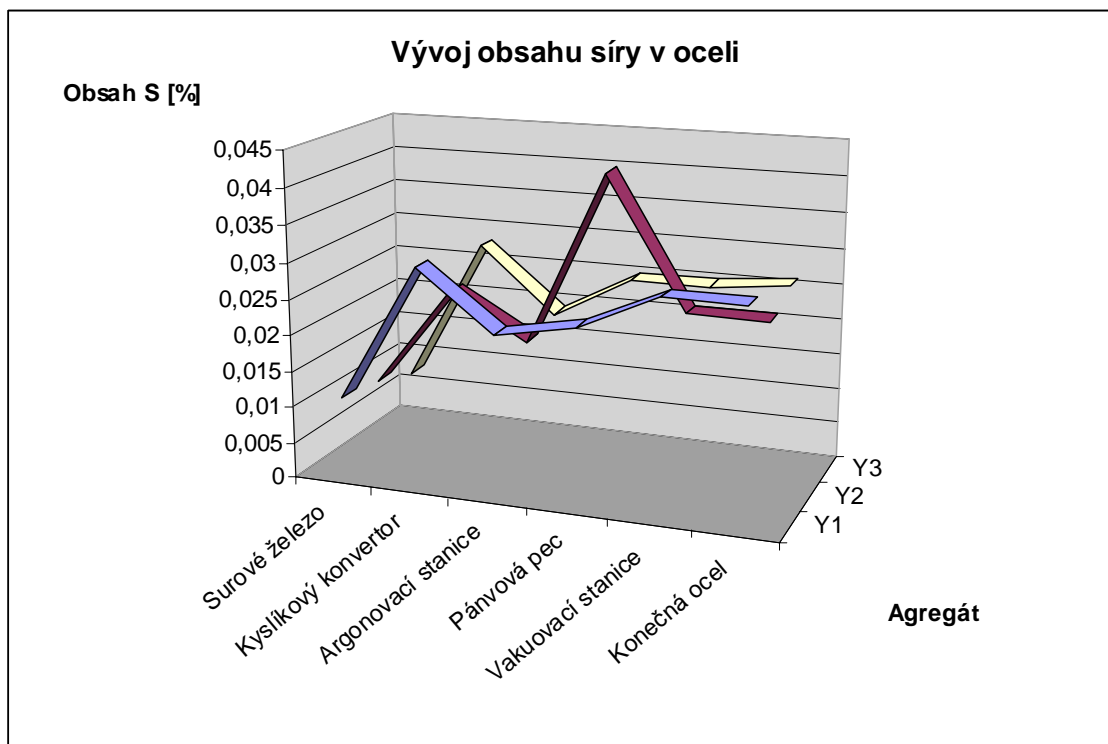
Obr. 22 Graf průběhu vývoje teploty oceli sledovaných taveb v průběhu zpracování

12.5 Poměr mezi Ca, Al a S v průběhu zpracování

Tab. 40 Vývoj obsahu síry v oceli, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>Surové železo</i>	<i>Kyslíkový konvertor</i>	<i>Argonovací stanice</i>	<i>Pánvová pec</i>	<i>Vakuovací stanice</i>	<i>Konečná ocel</i>
Y ₁	0,011	0,03	0,022	0,024	0,029	0,029
Y ₂	0,01	0,024	0,018	0,042	0,024	0,024
Y ₃	0,008	0,028	0,019	0,025	0,025	0,026

Z hlediska obsahu síry jsou rozdíly v jejím obsahu v oceli mezi jednotlivými sledovanými tavbami nepatrné. Pouze po odpichu z kyslíkového konvertoru je obsah síry v oceli u tavby Y₂ o trochu nižší (0,024 % hm.) než u zbývajících dvou taveb (0,03 % hm. respektive 0,028 % hm.). To již bylo diskutováno v **kap. 5.3** a je to dáno vyšším podílem ocelového odpadu, které do oceli přináší síru.



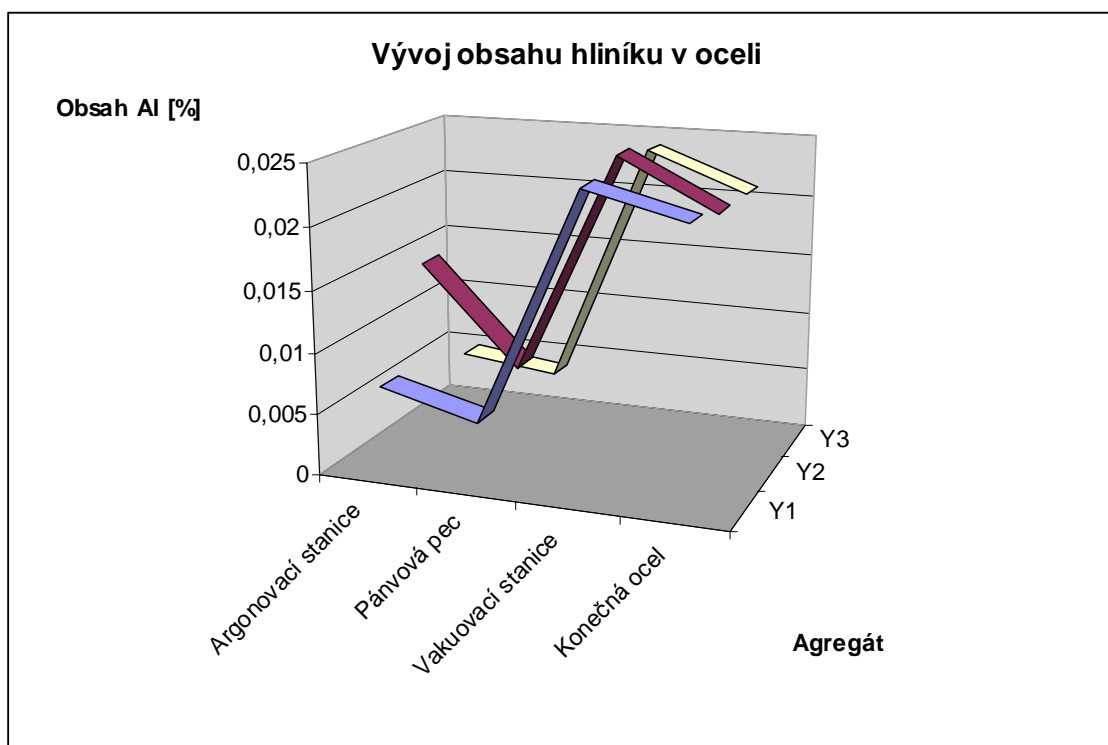
Obr. 23 Graf průběhu vývoje obsahu síry v oceli u sledovaných taveb v průběhu zpracování

Za povšimnutí stojí pouze vysoký nárůst síry u tavby Y_2 až na hodnotu 0,042 % hm. (viz. **tab. 40, obr. 23**). Tento vysoký nárůst byl zapříčiněn příliš časným odebráním vzorku tavičem, téměř ihned po vstřelení plněného profilu síry a síra se nestačila v celém objemu lázně rozmíchat.

Tab. 41 Vývoj obsahu hliníku v oceli, % hm.

<i>Tavba</i>	<i>Argonovací stanice</i>	<i>Pánvová pec</i>	<i>Vakuovací stanice</i>	<i>Konečná ocel</i>
Y_1	0,007	0,005	0,024	0,022
Y_2	0,015	0,007	0,025	0,021
Y_3	0,005	0,004	0,024	0,021

Vývoj obsahu hliníku byl u všech tří taveb obdobný, k jeho nalegování do oceli došlo až na vakuovací stanici pomocí granulovaného hliníku. Z hlediska jeho obsahu v oceli byl hliník u tavby X_2 ze začátku poněkud vyšší než u zbylých dvou taveb, ale v průběhu zpracování došlo k vyrovnání obsahů hliníku u všech tří sledovaných taveb, viz. **tab. 41** a **obr. 21**.



Obr. 24 Vývoj obsahu hliníku v oceli

Tab. 42 Poměr obsahů Ca / Al

<i>Tavba</i>	<i>pánvová pec</i>	<i>vakuové zařízení</i>	<i>konečná ocel</i>
Y_1	0,74	0,071	0,077
Y_2	0,171	0,068	0,086
Y_3	0,875	0,079	0,091

Poměr Ca / Al vykazuje ve finální analýze vysoké hodnoty, a to 0,077 u tavby Y_1 při celkovém obsahu vápníku 0,0017 % hm., 0,086 u tavby Y_2 při celkovém obsahu vápníku 0,0018 % hm. a 0,091 u tavby Y_3 při celkovém obsahu vápníku 0,0019 % hm. (viz. **tab. 42**)

Tab. 43 Poměr obsahů Ca / S

<i>Tavba</i>	<i>pánvová pec</i>	<i>vakuové zařízení</i>	<i>konečná ocel</i>
Y_1	0,154	0,059	0,059
Y_2	0,029	0,071	0,075
Y_3	0,14	0,076	0,073

Poměr Ca / S uvádí ve výsledné analýze rovněž vysoké hodnoty a to 0,059 u tavby Y_1 při celkovém obsahu vápníku 0,0017 % hm., 0,075 u tavby Y_2 při celkovém obsahu vápníku 0,0018 % hm., a 0,073 u tavby Y_3 při celkovém obsahu vápníku 0,0019 % hm. (viz. **tab. 43**).

Pro oba poměry prvků platí, že dle **obr. 7** (str. 18) se díky vysokému obsahu vápníku dostáváme mimo hranici tekutého okna pro vznik tekutých hlinitanů vápenatých. Tyto vysoké hodnoty vápníku pomohly ke vzniku vměstků CaS u všech tří taveb, např. viz **obr. 74**, které jsou dokumentovány v následující kapitole. Důvodem vysokých obsahů vápníku bylo přidání velkého množství vápníku ve formě dusíkatého vápna.

12.6 Mikročistota taveb oceli jakosti 30MnVS6

Vzorky pro zjištění mikročistoty oceli sledovaných taveb byly odebrány ve stejnou dobu jako vzorky určené k chemické analýze, opět ponorným vzorkovačem bez použití uklidňovače, k zamezení vzniku sulfidických vměstků.

Na každém vzorku byl opět proveden metalografický výbrus, na kterém byla následně sledována velikost a hustota nekovových vměstků.

Z každého vzorku bylo rovněž několik vměstků zdokumentováno a byla provedena analýza chemického složení všech jejich viditelných fází.

Tab. 44 Označení odebraných vzorků

<i>Vzorek odebraný na:</i>	<i>Tavba Y₁</i>	<i>Tavba Y₂</i>	<i>Tavba Y₃</i>
<i>Pánvová pec před přidáním CaCN₂</i>	-	L ₁	M ₁
<i>Pánvová pec po přidání CaCN₂</i>	K ₂	L ₂	M ₂
<i>Vakuovací stanice po modifikaci CaSi</i>	K ₃	L ₃	M ₃
<i>Mezipánev ZPO</i>	K ₄	L ₄	M ₄

Přehled odebraných vzorků je možno vidět v **tab. 44**. Vzorek K₁ tavby Y₁ nebyl z časových důvodů odebrán.

Rovněž u jakosti 30MnVS6 byla provedena automatická analýza vměstků. Postup byl stejný jako u předešlé jakosti C35RKL, analýza byla provedena metodou Pirelli na ploše 2,25 mm². Vyhodnocené oxidy byly opět vyneseny do ternárních diagramů (viz. **obr. 58 až 68**).

Z **tab. 45** vyplývá, že v oceli všech tří sledovaných taveb se během celého mimopecního zpracování opět vyskytují co do velikosti nejvíce vměstky do velikosti 2 μm, ovšem jejich hustota je na rozdíl od jakosti C35RKL mnohem větší, někdy až dvojnásobná. V průběhu celého mimopecního zpracování vycházela z hlediska hustoty vměstků nejlépe tavba Y₃.

Hodnocené oxidy byly vyneseny do ternárního diagramu (diagramy jsou v příloze). Na diagramech je vidět změna v chemickém složení oxidů v jednotlivých vzorcích - ve vzorcích L₁ a M₁ převládají hlinitany často s velkým rozptylem v obsazích oxidů CaO, MgO, MnO a SiO₂.

Ve vzorcích K₂, L₂ a M₂ už čisté hlinitany nejsou - ve vměstcích je od 10 do 35 % hm. SiO₂. Obsah zásaditých oxidů (zřejmě převážně oxidů CaO) je vyšší u vzorků z taveb modifikovaných pomocí CaCN₂ (K₂: 30 – 50 % hm., M₂: 40 – 60 % hm.). Jen u tavby Y₂ obsahuje vzorek L₂ pouze 20 – 35 % hm. těchto oxidů. Obsah Al₂O₃ ve vzorcích se liší.

Po modifikaci oceli CaSi vzorky K₃, L₃ a M₃ stejně jako ve vzorky K₄, L₄ a M₄ obsahují převážně Al₂O₃ (50 až 70 % hm.) a CaO (MgO, MnO). Chemické složení vměstků se výrazně zúžilo.

Tab. 45 Analýza celkového počtu oxidických vměstků u jednotlivých vzorků

Vzorek	Celkový počet vměstků na ploše 1 cm ²	Počet vměstků v μm na ploše 2,25 mm ²											Celkový počet vměstků
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>>	
L ₁	1 733	7	13	14	4	1							39
M ₁	889	15	1	2		1						1	20
K ₂	1 778	26	11	1	1	1							40
L ₂	1 511	26	5	1	1	1							34
M ₂	1 378	15	15									1	31
K ₃	1 067	2	7	8	3	1	1	1	1				24
L ₃	1 289	7	16	5	1								29
M ₃	756	1	7	4	2	3							17
K ₄	1 200	6	12	3	1	1		1		2		1	27
L ₄	1 022	4	11	5	2			1					23
M ₄	711	1	5	5	3	1	1						16

Průměrné chemické složení vměstků ze vzorků odebraných z mezipánve u jednotlivých taveb (K₄, L₄, M₄), stejně jako poměry Ca/Al a Ca/S jsou uvedeny v následující **tab. 46**.

Tab. 46 Elementární chemické složení vměstků v mezipánvi, % hm.

K ₄ - 152 NKV		Rozměr	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Mn	Ca/Al	Ca/S
Průměr			1,75	4,38	0,18	3,76	0,41	0,07	1,50	2,55	0,74	1,87
Rozmezí	min.		0,83	0	0	0	0	0	0	0	■	■
	max.		8,94	35,91	1,95	31,79	1,31	0,34	8,39	26,87	0,85	3,20
L ₄ - 75 NKV		Rozměr	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Mn	Ca/Al	Ca/S
Průměr			2,01	11,06	0,34	10,37	0,72	0,09	2,35	8,92	0,86	3,80
Rozmezí	min.		0,83	0	0	0	0,05	0	0	0	■	■
	max.		9,18	37,43	1,52	32,30	1,97	0,34	13,51	26,37	0,82	1,95
M ₄ - 77 NKV		Rozměr	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Mn	Ca/Al	Ca/S
Průměr			2,46	8,97	0,49	7,97	0,67	0,08	3,35	7,36	0,92	2,20
Rozmezí	min.		0,95	0	0	0	0,05	0	0	0	■	■
	max.		13,11	36,80	2,36	28,94	2,37	0,34	23,97	37,63	1,30	1,57

Z analýz vměstků v mezipánvi vyplývá, že poměr Ca/Al je u vměstků vzorků K₄, L₄ a M₄ v rozmezí 0,74 až 0,92. to znamená, že obsah CaO a Al₂O₃ ve vměstcích se nachází v oblasti existence hlinitanů CaO.Al₂O₃ (poměr Ca/Al = 0,74) až 12CaO.7Al₂O₃ (poměr Ca/Al = 1,27). Při teplotách 1530 – 1550 °C se tedy jedná o tekuté vměstky. Poměr mezi obsahy Ca a Al ve vměstcích v utuženém stavu je u všech tří taveb v relaci (cca 10 x větší) s poměrem obsahu Ca a Al v tekutém kovu, viz. **tab.42 str.31** (tavba Y₁: 9,61; tavba Y₂: 10,12; tavba Y₃: 10,22).

Samostatné vměstky CaS v oceli nevznikly, dosahované poměry Ca/S byly 0,059 – 0,073, viz. **tab. 43**.

Vzorek K₁ nebyl z časových důvodů odebrán a ani u zbylých vzorků tavby Y₁ nakonec nebyla provedena mikroanalýza. Mikroanalýza byla provedena pouze u vzorků Y₂, Y₄, Z₂ a Z₄ (viz. **tab. 47**). Z těchto vzorků byly vybrány, změřeny a fotograficky dokumentovány některé vměstky, u kterých se provedla analýza všech viditelných fází. Analyzované vměstky lze najít na **obr. 69 až 75**.

Základem vměstku L₂₁ (**obr. 69**) je z velké části oxid Al₂O₃. Na jeho kraji se vyskytuje spinel MgO.Al₂O₃. Převážnou část vměstku L₂₂ (**obr. 70**) tvoří oxid CaO.Al₂O₃ s malým množstvím oxidu SiO₂. Základ vměstku M₂₁ (**obr. 71**) je z velké části tvořen oxidy CaO a SiO₂ s malým množstvím oxidu Al₂O₃. V porovnání s vměstky L₂₁ a L₂₂ je množství oxidu Al₂O₃ menší.

Vměstek L₄₁ (**obr. 72**) obsahuje vyšší množství oxidu titanu a v porovnání s vměstky M₄₁, M₄₂ a M₄₃ (**obr. 73, 74 a 75**) mnohem menší množství oxidu CaO. Vměstky ve vzorcích M₂ a M₄ jsou tvořeny oxidy CaO a Al₂O₃ s příměsí oxidu MgO. Ve vměstcích M₄₁, M₄₂ a M₄₃ je vyšší obsah Al₂O₃. Světlou část u vměstku M₄₁ tvoří komplexní oxid CaO.Al₂O₃ a na kraji se vyskytuje tmavá skvrna spinelu MgO.Al₂O₃. Vměstek M₄₂, jako jediný z těchto fotograficky dokumentovaných vměstků obsahuje ve světlé části sulfid CaS s trochou oxidu Al₂O₃. Tmavší část vměstku je tvořena oxidem CaO.Al₂O₃. Vměstek M₄₃ je tvořen v tmavé části spinelem MgO.Al₂O₃ a světlou část tvoří obálka oxidu CaO.Al₂O₃.

Veškeré tyto nálezy naznačují, že v každé tavbě proběhl vysoký stupeň modifikace vměstků Al₂O₃.

Tab. 47 Výsledky mikroanalýzy vzorků L₂, L₄, M₂ a M₄

Vzorek	Vměstek	Popis	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	K	Ti	Mn	Fe	O
			[hm. % hm.]										
L ₂	L ₂₁	základ	0,0	0,1	54,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	0,4	1,2	43
		kraj	0,1	10,3	43,7	0,0	0,0	0,8	0,0	0,2	3,3	3,0	39
	L ₂₂	základ	0,0	1,1	25,7	5,6	0,7	26,0	0,0	0,3	0,6	1,4	39
L ₄	L ₄₁	základ	0,1	0,2	9,7	7,9	0,3	2,1	4,0	24,2	16,7	1,6	33
		tmavší	0,1	0,2	17,4	9,8	0,5	4,7	5,3	12,6	13,4	1,5	35
		světlejší	0,0	0,3	9,8	2,3	0,1	0,8	1,3	41,3	17,6	1,7	25
M ₂	M ₂₁	základ	0,0	5,0	7,3	14,7	0,4	29,8	0,1	0,5	0,2	1,0	41
M ₄	M ₄₁	základ	0,0	2,3	29,7	1,4	0,5	24,5	0,0	1,9	0,2	1,5	38
		kraj	0,1	11,4	33,3	0,3	0,4	8,2	0,0	1,2	0,4	3,1	41
	M ₄₂	tmavší	0,0	2,5	31,3	0,9	0,4	23,3	0,1	2,1	0,9	2,2	36
		světlejší	0,0	0,8	11,3	0,2	24,2	46,7	0,0	0,8	1,5	3,2	11
	M ₄₃	tmavší	0,0	13,9	36,7	0,1	0,1	4,2	0,0	0,6	0,2	2,1	42
		světlejší	0,0	1,6	29,1	1,2	0,4	27,1	0,1	1,6	0,5	2,2	36

12.7 Dílčí závěr

Z výsledků analýz sledovaných taveb jakosti 30MnVS6 vyplývá:

- Ani u jedné ze tří sledovaných taveb nedošlo k zatažení výlevek.
- Všechny tavby byly zpracovány standardním postupem.
- Síra byla do oceli legována ve formě plněného profilu během zpracování na pánvové peci.
- Vápník byl do oceli legován ve formě dusíkatého vápna CaCN_2 během zpracování na pánvové peci a ve formě CaSi na vakuovací stanici, výjimku tvořila pouze tavba Y_2 , kde se dusíkatého vápna přidalo relativně málo (0,2 kg / t oceli), jelikož došlo k odlišnému způsobu nadusičení oproti zbývajícím dvěma tadbám Y_1 a Y_3 . (0,73 kg / t oceli u tadbvy Y_1 respektive 0,67 kg / t oceli u tadbvy Y_3). Dusík byl vpravován do oceli především pomocí dusíkatého FeMn .
- U všech tří taveb se opět jednalo o tradiční způsob dezaktivace strusky hliníkem a její ředění pomocí kazivce. Z hlediska bazicity strusky se pracovalo s kyselejší struskou, než u taveb jakosti C35RKL, nejen v kyslíkovém konvertoru, ale zejména v průběhu mimopecní rafinace oceli.
- Z hlediska bazicity v kyslíkovém konvertoru měla nejprůhodnější bazicitu tavba Y_2 ($B = 2,5$), naopak v průběhu mimopecní rafinace měla nejnižší bazicitu strusky, zabraňující odsíření oceli, struska tadbvy Y_1 . Rozmezí bazicit se pohybovalo v rozmezí 2,5 – 3,65 v kyslíkovém konvertoru, 1,33 – 1,46 na pánvové peci a 1,38 – 1,52 na vakuovací stanici.
- Z hlediska průběhu teplot je jejich vývoj u jednotlivých taveb je téměř identický. Všechny tři tavby byly bez problému odlity s přehřátím 43 – 53 °C nad teplotou likvidu.
- Z hlediska obsahu síry jsou rozdíly v jejím obsahu v oceli v průběhu zpracování mezi jednotlivými sledovanými tadbami nepatrné. Zaznamenaný náhlý nárůst síry na pánvové peci u tadbvy Y_2 byl zapříčiněn příliš brzkým odebráním kontrolního vzorku po vstřelení plněného profilu síry.
- Poměry Ca / Al vykazují v tuhé fázi výrazně vyšší hodnoty (cca 7 x vyšší) než v tekuté fázi. Nejvyšší stupeň modifikace dosáhla tavba Y_3 , kde poměr Ca / Al vykazuje nejvyšší hodnotu 0,09 v tekuté a 0,92 v tuhé fázi, naopak nejnižší stupeň modifikace vměstků dosáhla tavba Y_1 , kde poměr Ca / Al vykazuje nejvyšší hodnotu 0,077 v tekuté a 0,74 v tuhé fázi.
- Největší zastoupení v oceli měly vměstky o velikosti do 2 μm . V tomto ohledu byla nejprůzřivější tavba Y_3 , u které, i přes počáteční vysoké zastoupení těchto vměstků, byl nakonec jejich počet ve finálním odebraném vzorku výrazně nižší, než u zbývajících dvou taveb.
- Z hlediska chemického složení nekovových vměstků převládaly ve vzorcích odebraných na pánvové peci před přidáním CaCN_2 hlinitany spolu s vměstky s různým složením. Ve vzorcích K_2 , L_2 a M_2 po přidání CaCN_2 už čisté hlinitany nejsou - ve vměstcích je od 10 do 30 % hm. SiO_2 (množství Al_2O_3 je různé). Ve vzorcích K_3 , L_3 a M_3 stejně jako ve vzorcích K_4 , L_4 a M_4 je obsah SiO_2 velmi nízký, kolem 5 % hm. a kolem 60 % hm. Al_2O_3 . Složení vměstků je u vzorků K_3 , L_3 , M_3 a K_4 , L_4 a M_4 podobné.

-
- Z pohledu chemického složení finálních vměstků nalezených ve vzorcích odebraných z mezipánve ZPO se vyskytovaly hlinitany vápenaté typu $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ až $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$.
 - Samostatné vměstky CaS se v oceli nevyskytly, fáze CaS se vylučovala pouze na již existujícím vměstku.

13 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTÁLNÍCH TAVEB OBOU SEKVENCÍ SBQ OCELÍ

- Jedním z hlavních problémů SBQ ocelí zkoumaných v této práci je zarůstání výlevek mezipánve v důsledku nalepování nekovových vměstků Al_2O_3 na stěny výlevek. Z hlediska tohoto jevu byly obě sekvence SBQ ocelí úspěšně odlity, ani u jedné z šesti taveb nedošlo k zatažení výlevek.
- Porovnání vybraných parametrů obou sledovaných jakostí je uvedeno v následujících tabulkách:

Tab. 48: Vybrané parametry taveb jakosti C35RKL

C35RKL	Ca / Al	Ca / Al	CaO / Al_2O_3	$(\text{Ca} / \text{Al})_v$	[Al]	[Ca]	(Al) _v	(Ca) _v
	ZPO	vměstky	vměstky	$[\text{Ca} / \text{Al}]_{oc.}$	ZPO			
X ₁	0,1533	2,91	2,16	18,98	0,015	0,0023	7,29	21,20
X ₂	0,0864	1,77	1,31	20,49	0,022	0,0019	7,62	13,47
X ₃	0,0762	1,44	1,07	18,90	0,021	0,0016	9,75	14,08
Průměr	0,105	2,04	1,41	19,46	0,0193	0,00193	8,22	16,35

Tab. 49: Vybrané parametry taveb jakosti 30MnVS6

30MnVS6	Ca / Al	Ca / Al	CaO / Al_2O_3	$(\text{Ca} / \text{Al})_v$	[Al]	[Ca]	(Al) _v	(Ca) _v
	ZPO	vměstky	vměstky	$[\text{Ca} / \text{Al}]_{oc.}$	ZPO			
Y ₁	0,077	0,74	0,55	7,14	0,022	0,0017	3,76	2,80
Y ₂	0,086	0,86	0,63	7,32	0,021	0,0018	10,37	8,92
Y ₃	0,091	0,92	0,68	7,47	0,021	0,0019	7,97	7,36
Průměr	0,0847	0,84	0,62	7,31	0,0213	0,0018	7,37	6,36

- Při modifikaci vměstků pomocí CaSi je obsah vápníku ve vměstcích v průměru 2,6x větší než při modifikaci pomocí CaCN_2 (16,35 % u CaSi; 6,36 % u CaCN_2); zatímco průměrný obsah hliníku ve vměstcích je srovnatelný (8,22 % u CaSi; 7,37 % u CaCN_2).
- Průměrný obsah vápníku a hliníku v oceli je v obou případech srovnatelný (CaSi: 0,00193 % Ca; 0,0193 % Al; CaCN_2 : 0,0018 % Ca; 0,0213 % Al).
- Vápníku bylo do oceli vsazeno více ve formě CaCN_2 u taveb Y (v průměru cca 0,196 kg na tavbu) zatímco u taveb X byl vápník přidán do oceli ve formě CaSi a to v průměru cca 0,089 kg na tavbu.
- Vměstky u taveb X modifikované CaSi obsahují podstatně více síry (v průměru 11,13 % síry) zřejmě vázané na vápník a mangan než vměstky u taveb Y modifikované pomocí CaCN_2 (v průměru 2,4 % síry) i když obsahy vápníku i

síry v nich jsou v obou případech srovnatelné (průměrně 0,00193 % vápníku u taveb X a 0,0018 % vápníku u taveb Y).

- Z výše uvedeného vyplývá, že využití vápníku na modifikaci vměstků se v případě modifikátoru CaSi jeví jako vyšší než v případě modifikátoru CaCN₂.
- Vápník byl do oceli přidáván v rozličných formách. U jakosti C35RKL to bylo ve formě CaSi (0,405 kg/t pro tavbu X₁, 0,244 kg/t pro tavbu X₂ a 0,242 kg/t pro tavbu X₃), u jakosti 30MnVS6 pak ve formě CaCN₂ a rovněž, i když minimálně, ve formě CaSi (0,73 + 0,1 kg/t pro tavbu Y₁, 0,2 + 0,21 kg/t pro tavbu Y₂ a 0,67 + 0,1 kg/t pro tavbu Y₃). Vyšší přídavek CaSi u tavby X₁ je dán jejím opakovaným ohřevem na pánvové peci a dodatečným přistřelením plněného profilu CaSi, naopak nižší přídavek CaCN₂ a tedy i vápníku u tavby Y₂ je dán tím, že legující dusík byl do oceli přidáván jako dusíkatý FeMn a nikoliv jako CaCN₂.
- Při stechiometrickém výpočtu přídavku čistého vápníku z jednotlivých přidávaných složek vychází, že u taveb jakosti C35RKL bylo do oceli přidáno 0,3 kg/t vápníku pro tavbu X₁, 0,18 kg/t vápníku pro tavbu X₂ a 0,179 kg/t vápníku pro tavbu X₃. Obdobně pro jakost 30MnVS6 lze dopočítat, že do tavby Y₁ bylo přidáno 0,435 kg/t vápníku, pro tavbu Y₂ 0,26 kg/t vápníku a pro tavbu Y₃ pak 0,405 kg/t vápníku. Pokud nebereme v úvahu tavby X₁ a Y₂, které byly vyrobeny nestandardním postupem, je vidět, že u taveb jakosti 30MnVS6 je přídavek vápníku na tunu oceli je téměř dvojnásobný, než u taveb jakosti C35RKL. Vzhledem k téměř identickému konečnému obsahu vápníku v oceli (17 – 19 ppm, pouze tavba X₁ 23 ppm) je to patrně dáno nižším využitím vápníku ve formě CaCN₂, neboť přídavek CaSi byl u této jakosti, v porovnání s přídavkem CaCN₂, jen minimální.
- Jak můžeme vidět z **obr. 7 (str.18)**, pro sledované tavby, kdy se konečný obsah hliníku pohyboval v rozmezí 210 – 220 ppm (pouze u tavby X₁ to bylo 150 ppm) a obsah síry v oceli se pohyboval v rozmezí 240 – 300 ppm, je obsah vápníku ve sledovaných tavnách dostatečný pro vznik tekutých hlinitanů vápenatých.
- Vměstky obsahující pouze CaS nebyly v námi sledovaných tavnách nalezeny, nicméně byly nalezeny jako fáze komplexních vměstků. Množství vápníku pro daný obsah hliníku a síry by měl být dle diagramu zredukováno do rozmezí 11 – 16 ppm (rozmezí dané obsahy hliníku a síry pro vznik tekutých hlinitanů vápenatých dle diagramu na **obr.7**).
- Hodnoty poměru Ca / Al ve vměstcích sledovaných taveb jsou v relaci s poměrem Ca / Al v tekuté oceli (cca 20 x vyšší u taveb X₁, X₂ a X₃ a cca 7 x vyšší u taveb Y₁, Y₂ a Y₃).
- Z hlediska velikosti nekovových oxidických vměstků jsou u obou jakostí oceli nejvíce zastoupeny vměstky do velikosti 2 μm, avšak z hlediska četnosti je jejich hustota u jakosti 30MnVS6 téměř dvojnásobná, někdy dokonce i trojnásobná.
- Z hlediska chemického složení finálních vměstků nalezených ve vzorcích odebraných z mezipánve ZPO se u taveb jakosti C35RKL vyskytovaly nejen hlinitaný vápenatý typu 12CaO.7Al₂O₃ až 3CaO.Al₂O₃, ale dokonce díky vysokému poměru Ca / Al rovněž i tuhý roztok CaO v 3CaO.Al₂O₃. U taveb jakosti 30MnVS6 se vyskytovaly hlinitaný vápenatý typu CaO.Al₂O₃ až

$12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$. Samostatné vměstky CaS se v oceli nevyskytly, fáze CaS se u obou jakostí vylučovala pouze na již existujících vměstcích.

14 STATISTICKÁ ANALÝZA VYBRANÝCH TAVEB SBQ OCELÍ

Jak již bylo v práci uvedeno, hlavním problémem při výrobě SBQ ocelí je možnost zanášet výlevky mezipánve při plynulém odlévání. Hlavní příčinou tohoto jevu je usazování nekovových vměstků typu Al_2O_3 a CaS na stěny výlevek a růst vrstvy těchto nasazenin. Z toho lze předpokládat, že mezi hlavní parametry, ovlivňující vznik těchto vměstků a jejich nasazenin budou patřit obsahy vybraných prvků tvořících tyto vměstky (Al, O, Ca, S) a také termodynamické podmínky jejich vzniku, zejména pak teplota oceli.

V **tab. 50** jsou uvedeny všechny parametry zařazené do statistického zpracování. Z námi uvažovaných parametrů chybí obsah kyslíku, který nebyl v tavebních listech sledován.

Tab. 50 Seznam sledovaných parametrů oceli

Sledovaný parametr oceli	Jednotka
Obsah uhlíku	% hm.
Obsah manganu	% hm.
Obsah křemíku	% hm.
Obsah fosforu	% hm.
Obsah síry	% hm.
Obsah hliníku	% hm.
Obsah vápníku	% hm.
Poměr Ca / Al	1
Poměr Ca / S	1
Hmotnost oceli v licí pánvi	kg
Hmotnost oceli v mezipánvi	kg
Teplota likvidu oceli	°C
Nejmenší teplota v mezipánvi dosažená během plynulého odlévání oceli	°C
Teplota přehřátí oceli	°C

Jednotlivé sledované parametry byly porovnávány s tzv. „**Příznakem tekutosti**“, dále značený jako „**PT**“, který charakterizuje míru zalepení výlevky a tudíž průtoku oceli podle výšky polohy zátkové tyče. Je třeba zopakovat, že nabývá hodnoty 1 až 4, přičemž hodnota „1“ symbolizuje odlití tavby bez problémů, naopak hodnota „4“ znázorňuje v podstatě havarijní stav. Bližší popis „**PT**“ byl uveden v **tab. 2**.

Z důvodu nepříliš vysokého počtu taveb jednotlivých jakostí SBQ ocelí byly metody matematické statistiky aplikovány na celkový soubor všech taveb jakostí SBQ ocelí, zahrnující cca 110 taveb. Tento soubor byl následně ještě zredukován o cca 20 taveb použitím statistických metod „box plot“ a „histogram“ pro nalezení a eliminaci tzv. „odlehklých hodnot“, které by zkreslovaly výsledky statistického rozboru. Výsledkem byla základní soubor obsahující 90 taveb SBQ ocelí, bez ohledu na jejich pořadí v sekvenci.

Pro lepší vzájemné posouzení významnosti jednotlivých parametrů, byly všechny parametry transformovány na bezrozměrné velikosti podle rovnice (47).

Následně byl tento základní soubor podroben statistickému rozboru pomocí statistických metod popsanych v teoretické části v **kap. 6.1**. Jednalo se o tyto statistické metody:

- Párová korelační analýza
- Parciální korelační analýza
- Lineární regresní analýza
- Vícenásobná regresní analýza

14.1 Výsledky párové korelační analýzy

Výsledky párové korelační analýzy jsou uvedeny v **tab. č. 51**. Jednotlivé korelační koeficienty byly otestovány metodou T-test. Hladina významnosti u použitého statistického software byla nastavena na 95 %. Významné korelace mezi parametry jsou v tabulce vyznačeny žlutou barvou. Pro námi sledovaný „příznak tekutosti“ se jako významné parametry z hlediska párové korelační analýzy projevilo těchto šest parametrů:

- Obsah uhlíku v oceli
- Obsah síry v oceli
- Obsah hliníku v oceli
- Poměr Ca / Al v oceli
- T_{likvidus} oceli
- Nejmenší dosažená teplota oceli během odlévání

Pro parametry týkající se obsahů prvků (C, S a Al) v oceli vychází korelační koeficient kladný, to znamená, že s rostoucím obsahem těchto prvků roste riziko zanesení ponorné výlevky vměstky.

Naopak pro zbylé tři parametry, týkající se teploty oceli a poměru Ca / Al vychází korelační koeficient záporný, tedy s rostoucí hodnotou těchto parametrů klesá riziko zanesení ponorné výlevky vměstky.

Tab. 51 Tabulka párové korelační analýzy

	<i>PT</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Ca/Al</i>	<i>Ca/S</i>	<i>Hm. v LP</i>	<i>Hm. v MP</i>	<i>T_{likv.}</i>	<i>nejm. T</i>	<i>Přehř.</i>
<i>PT</i>	1														
<i>C</i>	0,31	1													
<i>Mn</i>	-0,13	-0,57	1												
<i>Si</i>	-0,18	-0,56	0,92	1											
<i>P</i>	0,08	0,32	-0,34	-0,28	1										
<i>S</i>	0,21	-0,26	0,54	0,42	-0,09	1									
<i>Al</i>	0,40	0,26	-0,48	-0,50	0,06	-0,21	1								
<i>Ca</i>	-0,03	-0,24	0,05	0,12	0,07	-0,08	-0,10	1							
<i>Ca / Al</i>	-0,22	-0,35	0,36	0,42	0,03	0,07	-0,62	0,82	1						
<i>Ca / S</i>	-0,14	-0,08	-0,19	-0,07	0,11	-0,54	-0,03	0,87	0,68	1					
<i>Hm. v LP</i>	-0,01	-0,18	0,11	0,13	0,04	-0,13	-0,13	0,46	0,43	0,48	1				
<i>Hm. v MP</i>	0,02	0,15	-0,02	-0,05	-0,02	-0,03	0,15	-0,37	-0,34	-0,29	-0,29	1			
<i>T_{likv.}</i>	-0,29	-0,96	0,35	0,36	-0,23	0,19	-0,16	0,26	0,30	0,13	0,19	-0,16	1		
<i>T_{nejm.}</i>	-0,32	-0,34	0,27	0,40	-0,14	-0,10	-0,34	0,56	0,62	0,52	0,31	-0,32	0,29	1	
<i>T_{Přehřátí}</i>	-0,07	0,18	0,06	0,18	0,04	-0,17	-0,24	0,40	0,43	0,44	0,30	-0,26	-0,24	0,67	1

14.2 Výsledky parciální korelační analýzy

Výsledky parciální korelační analýzy jsou uvedeny v tabulce č. 52. Jednotlivé korelační koeficienty nebyly otestovány metodou T-test, použitý software tuto operaci neumožňoval. Za významné parametry tedy byly považovány ty, jejichž parciální korelační koeficient nabyl hodnoty vyšší než [0,2]. Významné korelace mezi parametry jsou v tabulce opět vyznačeny žlutou barvou. Pro námi sledovaný „**příznak tekutosti**“ se jako významné parametry z hlediska parciální korelační analýzy projeví tyto čtyři parametry:

- Obsah křemíku v oceli
- Obsah hliníku v oceli
- Nejmenší dosažená teplota oceli během odlévání
- Přehřátí oceli v mezipánvi

Stejně jako u párové korelační analýzy se jako významný parametr ovlivňující námi sledovaný parametr „PT“ projevil obsah hliníku v oceli a rovněž nejmenší dosažená teplota oceli v mezipánvi během odlévání. Rovněž jejich vliv vyšel opět negativně pro rostoucí obsah hliníku v oceli a pozitivně pro nejnižší dosaženou teplotu v mezipánvi.

Z dalších parametrů se negativně projevil obsah křemíku v oceli. Naopak pozitivně se u této analýzy projevila teplota přehřátí oceli v mezipánvi..

Tab. 52 Tabulka parciální korelační analýzy

	<i>PT</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Ca/Al</i>	<i>Ca/S</i>	<i>Hm. v LP</i>	<i>Hm. v MP</i>	<i>T_{likv.}</i>	<i>nejm. T</i>	<i>Přehř.</i>
<i>PT</i>	1														
<i>C</i>	-0,04	1													
<i>Mn</i>	-0,12	-0,49	1												
<i>Si</i>	0,22	-0,15	0,64	1											
<i>P</i>	0,05	0,12	-0,16	0,10	1										
<i>S</i>	-0,08	0,27	0,27	0,09	0,07	1									
<i>Al</i>	0,32	-0,01	0,00	-0,10	0,17	0,17	1								
<i>Ca</i>	-0,16	-0,11	-0,09	0,00	-0,18	0,35	0,83	1							
<i>Ca / Al</i>	0,16	0,11	0,23	0,01	0,22	-0,20	-0,61	0,68	1						
<i>Ca / S</i>	0,14	0,08	-0,01	-0,01	0,13	-0,36	-0,73	0,91	-0,33	1					
<i>Hm. v LP</i>	0,03	0,08	0,14	-0,08	0,06	0,17	-0,02	-0,10	0,10	0,11	1				
<i>Hm. v MP</i>	0,04	0,04	0,04	0,01	-0,06	0,09	0,13	-0,20	0,17	0,14	-0,16	1			
<i>T_{likv.}</i>	-0,14	-0,97	-0,48	-0,10	0,12	0,24	-0,02	-0,08	0,07	0,07	0,12	0,04	1		
<i>T_{nejm.}</i>	-0,20	-0,03	-0,11	0,20	-0,17	-0,13	0,25	-0,15	0,23	0,11	-0,08	-0,09	0,06	1	
<i>T_{Přehřátí}</i>	-0,23	-0,01	-0,06	0,16	0,14	-0,01	-0,16	0,15	-0,21	-0,07	0,11	0,03	-0,17	0,59	1

14.3 Výsledky lineární regresní analýzy

Výsledky lineární regresní analýzy jsou uvedeny v **tab. č. 53**. Součástí této analýzy jsou již dříve spočítané párové korelační koeficienty, které nám udávají těsnost závislosti mezi dvěma parametry, a které jsou pro jednotlivé parametry shodné s výsledky párové korelační analýzy. To je dáno faktem, že korelační koeficient párové korelační analýzy se používá k výpočtům koeficientů lineární regresní analýzy. Výsledkem lineární regresní analýzy je pak přímka vyjadřující tuto závislost. Jednotlivé korelační koeficienty byly opět otestovány metodou T-test při hladině významnosti 95 %. Významné korelace mezi parametry jsou v tabulce vyznačeny žlutou barvou. Pro námi sledovaný „**příznak tekutosti**“ se jako významné parametry z hlediska párové korelační analýzy projevilo těchto šest parametrů:

- Obsah uhlíku v oceli
- Obsah síry v oceli
- Obsah hliníku v oceli
- Poměr Ca / Al v oceli
- $T_{likvidus}$ oceli
- Nejmenší dosažená teplota oceli během odlévání

Tab. 53 Výsledky lineární regresní analýzy

<i>Parametr</i>	R^2	<i>Rovnice</i>	<i>Úhel</i>	<i>P</i>
C	0,308	$y = 0,503x + 0,057$	26,7	0,003
Mn	0,133	$y = -0,194x + 0,304$	-10,98	0,212
Si	0,179	$y = -0,31x + 0,382$	-17,22	0,092
P	0,081	$y = 0,144x + 0,203$	8,19	0,45
S	0,212	$y = 0,645x - 0,149$	32,82	0,045
Al	0,404	$y = 0,746x - 0,114$	36,72	7,92.E-05
Ca	0,029	$y = -0,065x + 0,278$	-3,72	0,784
Ca / Al	0,223	$y = -0,421x + 0,402$	-22,83	0,035
Ca / S	0,140	$y = -1,26x + 0,339$	-51,56	0,187
Hm. v LP	0,011	$y = -0,022x + 0,27$	-1,26	0,919
Hm. v MP	0,021	$y = 0,037x + 0,237$	2,12	0,846
$T_{likv.}$	0,291	$y = -0,454x + 0,561$	-24,42	0,005
$T_{nejm.}$	0,322	$y = -0,506x + 0,51$	-26,84	0,002
$T_{Přehřátí}$	0,073	$y = -0,113x + 0,31$	-6,45	0,493

14.4 Výsledky vícenásobné lineární regrese

Výsledky vícenásobné regresní analýzy jsou uvedeny v **tab. 54** a **tab. 55**. Výsledky dosažené pomocí párových a parciálních regresí byly následně podrobeny statistickému rozboru vícenásobnou lineární regresí. Nejprve byly do vícenásobné lineární regrese zahrnuty všechny parametry pro porovnání s výsledky předešlých statistických analýz, viz.

Gumulec, T.: *Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním*. Disertační práce.

VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011.

tab. 54. Ne vždy se tyto výsledky potvrdily, jejich kritická hodnota P nesplňovala limit 0,05. Proto byly následně do vícenásobné regrese zahrnuty parametry, které se ukázaly jako významné až při vícenásobných regresích a také další podstatné parametry vyplývající z teoretického předpokladu a zkušeností metalurgů. Touto kombinací, doplňováním a ubíráním parametrů se nakonec podařilo nalézt jen parametry, jejichž hodnota P byla menší než 0,05. Z dosažených výsledků byly sestaveny rovnice vícenásobných lineárních regresí. Výsledky těchto vícenásobných lineárních regresí jsou uvedeny v **tab. 55**.

Tab. 54 Výsledky vícenásobné regresní analýzy pro všechny sledované parametry

	<i>Koeficienty</i>	<i>Odchylka</i>	<i>T-test</i>	<i>Hodnota P</i>
Konstanta	-1,384952975	1,155354926	-1,198725123	0,234408766
C	0,177124708	1,006672575	0,175950664	0,860806918
Mn	-0,331172241	0,457543857	-0,723804364	0,471437486
Si	0,306629628	0,449918496	0,681522611	0,497639979
P	-0,129204033	0,181741849	-0,710920649	0,479338503
S	1,318931389	1,187770097	1,110426498	0,270362736
Al	1,63009215	0,643125523	2,534640738	0,013340817
Ca	-1,380812239	1,970959237	-0,700578791	0,485733687
Ca/Al	1,74371868	1,191673196	1,463252414	0,14757679
Ca/S	0,943611973	6,834066296	0,138074747	0,890551384
Hm. v LP	0,180050615	0,222082132	0,810738864	0,420080906
Hm. v MP	-0,125777243	0,181163906	-0,694273191	0,489655932
$T_{likv.}$	-0,213060346	0,841011755	-0,253338131	0,800700082
$T_{nejm.}$	-0,545652641	0,271686721	-2,008389075	0,048202623
$T_{přehřátí}$	0,218673911	0,250152707	0,874161681	0,38482081

Tab. 55 Výsledná tabulka vícenásobné regresní analýzy

	<i>Koeficienty</i>	<i>Odchylka</i>	<i>T-test</i>	<i>Hodnota P</i>
Konstanta	-0,520480872	0,222344089	-2,340880186	0,021552115
S	1,084625213	0,277494345	3,908638972	0,000184567
Al	0,798163409	0,1677034	4,759375243	7,77471E-06
$T_{likv.}$	-0,447566497	0,141049795	-3,173109861	0,002092186

Jak je možno z tabulek vidět, na počátku analýzy se jako nejsilnější parametry ovlivňující parametr „PT“ projevíly:

- Obsah hliníku v oceli
- Nejmenší dosažená teplota v mezipánvi

Postupnou eliminací některých parametrů se však měnila i významnost jiných, takže ve výsledku se jako parametry ovlivňující zarůstání výlevek mezipánve projevíly:

- Obsah síry v oceli
- Obsah hliníku v oceli
- Teplota likvidu oceli

V porovnání s výsledky na počátku analýzy se významnost obsahu hliníku v oceli několikanásobně zvýšila. Naopak teplota likvidu oceli se prosadila na úkor teploty v mezipánvi, se kterou ho pojí silné vazby, neboť s klesající teplotou likvidu samozřejmě klesá i teplota oceli v mezipánvi.

Výsledná rovnice vícenásobné regresní analýzy je:

$$y = 1,085 x [\% \text{ hm.S}] + 0,798 x [\% \text{ hm.Al}] - 0,448 x [T_{\text{likv.}}] - 0,521 \quad (48)$$

15 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ STATISTICKÝCH ANALÝZ

Výsledky dosažené pomocí jednotlivých statistických metod se v mnohých případech mezi sebou liší. To je dáno způsobem výpočtu jednotlivých metod. Zatímco lineární regresní analýza a párová korelační analýza počítají pouze s hodnotami daného parametru, bez přihlédnutí k možnému vlivu zbylých parametrů, zbylé dvě statistické metody (vícenásobná regresní analýza a parciální korelační analýza) už tyto závislosti berou v úvahu. Stanovují míru ovlivnění a závislosti mezi parametry. Ve výsledku pak dochází k odstranění těchto vlivů a výsledky těchto statistických metod jsou vztaženy na vliv "čistého" parametru, nezkresleného vlivem ostatních parametrů. To má za následek možné rozdílné výstupy různých statistických metod.

Lze konstatovat, že mezi celou řadou parametrů existují vazby a vzájemné působení různé intenzity. Typickým příkladem je např. teplota oceli v mezipánvi a teplota přehřátí oceli. Z toho vyplývá, že daleko přesnější, a tedy i mnohem vhodnější, jsou statistické metody, které s těmito vlivy počítají, tedy vícenásobná regresní analýza a parciální korelační analýza. Lineární regresní analýza a korelační analýza vykazují vždy shodné výsledky, často naprosto odlišné od metod výše uvedených. Zde se jedná o shodu logickou, neboť korelační koeficient - výstup korelační analýzy, je součástí výpočtu lineární párové regrese. Z toho vyplývá, že se jedná v podstatě o jeden výstup, který je v druhé metodě trochu více rozveden. I z tohoto hlediska je jasné, že pokud tedy dojde ke konfrontaci výsledků jednotlivých analýz, lze za směrodatnější a přesnější považovat vícenásobnou regresní analýzu a parciální korelační analýzu.

Druhou věcí zůstává, do jaké míry jsou uplatněné statistické metody samy o sobě schopny postihnout výsledky procesů tuhnutí a vzniku nekovových vměstků. Většina sledovaných parametrů vykazuje značnou technologickou provázanost. Toto lze do jisté míry potlačit vhodně zvolenými statistickými metodami, ovšem i přesto může docházet k částečnému zkreslování výsledků. V neposlední řadě nelze vyloučit také vliv dalších faktorů, ovlivňujících sledovaný jev.

Přesto lze konstatovat, že pomocí vybraných statistických metod byl stanoven vliv vybraných parametrů na zatahování ponorných výlevků mezipánve.

Výsledky všech čtyř použitých metod matematické statistiky jsou uvedeny v **tab. č. 56**.

Jak je možno z **tab. 56** vidět, nejvýznamnější parametry, prokazující vliv na příznak tekutosti alespoň ve třech ze čtyř použitých metodách, jsou:

- Obsah hliníku v oceli (ve všech 4 metodách)
- Obsah síry v oceli (ve 3 metodách)
- Teplota likvidu oceli (ve 3 metodách)
- Nejmenší teplota oceli v mezipánvi během odlévání (ve 3 metodách)

Tab. 56 Výsledky metod matematické statistiky

<i>Sledovaný parametr oceli</i>	<i>Párová korelační analýza</i>	<i>Parciální korelační analýza</i>	<i>Lineární regresní analýza</i>	<i>Vícenásobná regresní analýza</i>
	Korelační koeficient	Korelační koeficient	Hodnota P	Hodnota P
<i>Obsah uhlíku</i>	0,31	-0,04	0,003	■
<i>Obsah manganu</i>	-0,13	-0,12	0,212	■
<i>Obsah křemíku</i>	-0,18	0,22	0,092	■
<i>Obsah fosforu</i>	0,08	0,05	0,45	■
<i>Obsah síry</i>	0,21	-0,08	0,045	0,0002
<i>Obsah hliníku</i>	0,4	0,32	7,92.E-05	7,77E-06
<i>Obsah vápníku</i>	-0,03	-0,16	0,784	■
<i>Poměr Ca / Al</i>	-0,22	0,16	0,035	■
<i>Poměr Ca / S</i>	-0,14	0,14	0,187	■
<i>Hmotnost oceli v LP</i>	-0,01	0,03	0,919	■
<i>Hmotnost oceli v MP</i>	0,02	0,04	0,846	■
<i>T_{likv.}</i>	-0,29	-0,14	0,005	0,002
<i>T_{nejm.}</i>	-0,32	-0,2	0,002	■
<i>T_{Přehřátí}</i>	-0,07	-0,23	0,493	■

Nejvýznamnějším parametrem se ukázal obsah hliníku v oceli. S rostoucím obsahem hliníku v oceli roste pravděpodobnost zanesení ponorných výlevek. To je v souladu s teoretickým předpokladem vycházejícím z **obr.7**. Při vyšších obsazích hliníku v oceli se zužuje tzv. „tekuté okno“, tedy oblast s podmínkami, za kterých mohou vznikat tekuté hlinitany vápenaté, které tuhnou až během tuhnutí PLP a nezpůsobují tedy problémy se zanášením ponorných výlevek mezipánve.

Dalším významným parametrem se ukázal obsah síry v oceli. S rostoucím obsahem síry v oceli roste opět pravděpodobnost zanesení ponorných výlevek. Toto je opět v souladu s teoretickým předpokladem, daným opět **obr. 7**. S rostoucím obsahem síry v oceli se opět zmenšuje oblast již zmíněného „tekutého okna“, tedy pravděpodobnost vzniku tekutých hlinitanů vápenatých a rovněž roste pravděpodobnost vzniku vměstků typu CaS, které naopak způsobují zarůstání ponorných výlevek mezipánve.

Zbýlé dva významné parametry jsou spolu úzce spojeny. S klesající teplotou likvidu oceli klesá i teplota oceli v mezipánvi. S rostoucí hodnotou obou parametrů se snižuje pravděpodobnost zanesení ponorných výlevek. Toto je opět v souladu s teoretickým předpokladem. Rostoucí teploty oceli rozšiřují „tekutou oblast“ a tím i pravděpodobnost vzniku tekutého hlinitanu vápenatého. Toto je možno vysledovat jednak na **obr. 7 a 8**, ale rovněž na **obr. 11 a 12**.

16 ZÁVĚR

Cílem této disertační práce bylo ověření stupně modifikace korundových vměstků typu Al_2O_3 při použití rozdílných forem vápníku. Toto ověření bylo provedeno na dvou jakostech SBQ ocelí a to pomocí mikroanalýzy a fázové analýzy nekovových vměstků. Dílčím cílem bylo rovněž hodnocení vlivu vybraných parametrů oceli na stupeň zarůstání výlevek při plynulém odlévání SBQ ocelí využitím metod matematické statistiky.

V rámci disertační práce bylo provedeno šest experimentálních taveb, dvě sekvence po třech tavnách pro každou sledovanou jakost oceli. Všechny tavby byly odlity bez výraznějších problémů, ani u jedné ze sledovaných taveb nedošlo k zatažení ponorných výlevek mezipánve. To je dáno dostatečnou modifikací hlinitanových vměstků typu Al_2O_3 vápníkem na tekuté hlinitany vápenaté. Jak bylo potvrzeno analýzou, z hlediska chemického složení finálních vměstků nalezených ve vzorcích odebraných z mezipánve ZPO se u taveb jakosti C35RKL vyskytovaly zejména hlinitany vápenaté typu $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ až $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, i když občas došlo díky vysokému poměru Ca / Al i k výskytu tuhého roztoku CaO v $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. U taveb jakosti 30MnVS6 se vyskytovaly pouze hlinitany vápenaté typu $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ až $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$. Samostatné vměstky CaS se v oceli nevyskytly, fáze CaS se u obou jakostí vylučovala pouze na již existujících vměstcích.

Úspěšná modifikace hlinitanových vměstků je daná jednak dostatečnou teplotou oceli v mezipánvi ($1540 - 1550^\circ\text{C}$), což pozitivně ovlivňuje vznik modifikovaných hlinitanů vápenatých a jednak dostatečným množstvím přidávaného vápníku, který se pro konečný obsah hliníku ($210 - 220 \text{ ppm}$) a síry ($240 - 300 \text{ ppm}$) v oceli pohyboval v rozmezí $24 - 30 \text{ ppm}$, tedy mnohem výše než je minimální hranice, nutná pro vznik tekutých hlinitanů vápenatých, znázorněná v diagramu na **obr.7 (str.18)**. Tento vysoký obsah vápníku ve sledovaných tavnách je dostatečný nejen pro vznik tekutých hlinitanů vápenatých, nýbrž i může vést ke vzniku vměstků CaS . V námi sledovaných tavnách nebyly čisté vměstky CaS nalezeny, nicméně byly nalezeny jako fáze komplexních vměstků. Množství vápníku pro daný obsah hliníku a síry by měl být dle diagramu zredukováno do rozmezí $11 - 16 \text{ ppm}$ (rozmezí dané obsahy hliníku a síry pro vznik tekutých hlinitanů vápenatých dle diagramu na **obr.7**).

Přestože uplatněné statistické metody samy o sobě zřejmě nejsou schopny postihnout proces tuhnutí a vzniku nekovových vměstků, byly stanoveny hlavní parametry oceli ovlivňující zatahování ponorných výlevek mezipánve. Statisticky bylo prokázáno, že rostoucí obsah hliníku a síry v oceli zvyšuje pravděpodobnost zatažení ponorných výlevek, naopak rostoucí teplota likvidy oceli a s ní spojená teplota oceli v mezipánvi tuto pravděpodobnost naopak snižuje.

Na základě dosažených výsledků uvedených v této disertační zprávě a v souvisejících publikacích prezentovaných v odborném tisku lze konstatovat, že cíle disertační práce, tak jak byly specifikovány v závěru její teoretické části, byly naplněny. Dosažené výsledky ukázaly na podstatné parametry oceli, podílející se na řízení chemické a metalografické čistoty tekuté oceli v pánvi před jejím plynulým odléváním a zabraňující tak zatahování ponorných výlevek mezipánve.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MYSLIVEC, T. *Fyzikálně chemické základy ocelářství*, SNTL Praha 1971, str. 404-405.
- [2] MICHALEK, K. Přednášky z předmětu *Čistota oceli*. VŠB–TU Ostrava, 2002.
- [3] KALOUSEK, J., DOBROVSKÝ, L. *Teorie hutních pochodů*. Skriptum VŠB Ostrava, 1987, str. 135, 143, 145-146, 148.
- [4] PARMA, V. *Ocelářství I*. Skriptum VŠB Ostrava, 1980, str. 166, 203.
- [5] BROŽ, L. a kol. *Hutnictví železa*. 1. vyd. Praha, SNTL, 1988, 460 s.
- [6] LARSEN, K., FRUEHAN, R. J. Calcium Modification of Oxide Inclusions. *Iron & Steelmaker*, July 1990, Pittsburgh, PA, vol. 17, s. 45-52, ISSN 0097-8388.
- [7] ŠENBERGER, J. *Metalurgie oceli na odlitky*. 1. vyd. Brno, CERM, 2003. 149 s. ISBN 80–214–2509–1.
- [8] KOR, G. J. W., GLAWS, P. C. *Ladle Refining and Vacuum Degassing*. The AISE Steel Foundation Pittsburgh, PA, 1998. ISBN 0-930-767-02-0, s. 661-713.
- [9] KEPKA, M. *Rafinace oceli*. Praha, SNTL, 1989. ISBN 80–03–0007–3.
- [10] BENEŠ, F., PŘIBYL, E. Modernizace výroby nízkolegovaných ušlechtilých ocelí. *Hutnické listy*, 1989, č. 7, s. 33-45, ISSN 0322-8525.
- [11] PAVELEC, M. *Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním*. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava, katedra metalurgie, 2004, 45 s.
- [12] GUMULEC, T., ADOLF, Z., SUCHÁNEK, P. Modification of alumina inclusions to liquid calcium aluminates with the help of CaCN₂. 12th International Students Day of Metallurgy 2005. 26. – 28. May 2005. VŠB-TU Ostrava, s. 30-35. (ISBN-80-248-0760-2)
- [13] FRUEHAN, R. J. *The Making, Shaping and Treating of Steel*, 11th Edition Steelmaking and Regining Volume, The AISE Steel Foundation Pittsburgh, Pa, 1998, ISBN:0-930767-02-0.
- [14] GUMULEC, T. - ADOLF, Z. Calcium exploitation in free-cutting steel production. In *Den interních doktorandů Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství 2004*, 24. listopadu, VŠB-TU Ostrava, Ostrava., 2004, s. 12-13. (ISBN 80-248-0489-1)
- [15] WILSON, W.G., MCLAREN, A. Desulphurisation of Iron and Steel and Sulphide Shape Control, *The Iron and Steel Society of AIME*, 1980.
- [16] KAY, D.A.R., SUBRAMANIAN, S.V., KUMAR, R.V. *Inclusions in calcium treated steels*.
- [17] MITURA, K., LANDOVÁ, L. *Vměstky v oceli a jejich vliv na užité vlastnosti oceli*. 1. vyd. Praha, SNTL, 1986, s. 22-25.
- [18] DOBROVSKÝ, L., LINZER, E., UNZEITIGOVÁ, H. *Použití slitin vápníku v ocelářství*. Sborník vědeckých prací VŠB v Ostravě, 1988, roč. 34, č. 1, s. 21-42.

-
- [19] BŘEZINA, J. Termodynamický rozbor podmínek řízení obsahu síry a hliníku v tekuté oceli s cílem zajištění dobré odlévatelnosti a optimalizace opotřebení vyzdívky pánevní pece. Ostrava, 2004, 24 s.
 - [20] ADOLF, Z. Přednášky z předmětu *Sekundární metalurgie*. VŠB–TU Ostrava, 2004.
 - [21] STOLTE, G. Secondary Metallurgy. *Fundamentals Processes Applications*, 2002, Dusseldorf, s. 125-134, ISBN 3-514-00648-2.
 - [22] ADOLF, Z., BAŽAN, J. Dezoxidace a modifikace nástrojových ocelí se zaměřením na omezení výskytu nekovových vměstků. Závěrečná zpráva HS 618512 k řešení projektu MPO IMPULS FI-IM2, VŠB-TU Ostrava 2005.
 - [23] HOLAPPA, L., HAMALAINEN, M., LIUKKONEN, M., LIND, M. Thermodynamic Examination of Inclusion Modification and Precipitation from Calcium Treatment to Solidified Steel. *Ironmaking and Steelmaking*, 2003, vol. 30, č. 2, s. 111-114.
 - [24] KOR, G. J. W. Elliot Symp. Proc. (P. J. Koros and G. R. St. Pierre, eds.), (Warrendale, PA: Iron and Steel Society, 1990), 479.
 - [25] LARSEN, K., FRUEHAN, R. J. ISS Trans. 12 (1991): p.125.
 - [26] TURKDOGAN, E.T. *Fundamentals of Steelmaking*, (London: The Institute of Materials, 1996), Chapt. 9.
 - [27] Gumulec, T. – Adolf, Z.: Methods exploitation of the statistical analysis for defects prediction of the continuously cast billets. In *11th International Students Day of Metallurgy 1.-3. April, 2004 Aachen, Germany*. Aachen: Fachschaft Metallurgie und Werkstofftechnik der RWTH, 2004. s. 72 - 80.
 - [28] Gumulec, R.- Adolf, Z.: Statistický rozbor odlévatelnosti SBQ ocelí. In: XV. International Scientific Conference „Iron and Steelmaking“. Sekce II – Technologie výroby oceli. 2005 Malenovice, s. 307-310, ISBN 80-248-0947-8
 - [29] GUMULEC, T. - ADOLF, Z. - HUSAR, I. Možnosti snížení výskytu podpovrchových trhlin u sochorů. In *20. celostátní konference Teorie a praxe výroby a zpracování oceli 6.-7. dubna, 2004 Rožnov pod Radhoštěm*. Ostrava: TANGER s.r.o. Ostrava, 2004. s. 104 - 113. (ISBN 80-85988-94-1)
 - [30] Adof, Z.- Husar, I.- Moravec, Z.- Gumulec, T.- Piegza, Z.: Nástrojové statistiky využití k identifikaci vad sochorů a výsledky jejich aplikace. (statistical tools used for identification of BILET defects and results of THEIN application). In: 13. mezinárodní konference metalurgie a materiálů METAL 2003. Sborník přednášek (Proceedings) – Symposium A – postery, © Tanger, spol. s r.o., Ostrava, 18.-20. 5. 2004 Hradec nad Moravicí, č. 158 s. 31 (ISBN 80-85988-95-X) + CD ROM
 - [31] GUMULEC, T., ADOLF, Z., SUCHÁNEK, P., PIEGZA, Z. Parametry ovlivňující zarůstání výlevků mezipánve při odlévání SBQ ocelí. (PARAMETERS INFLUENCING NOZZLE CLOGGING IN TUNDUSH AT SBQ STEEL CONTINUOUS CASTING) 14. mezinárodní konference metalurgie a materiálů METAL 2005. Sborník přednášek – Symposium A, © Tanger, spol. s r.o., Ostrava, 24.-26. 5. 2005 Hradec nad Moravicí, č. 210, s. 41 (ISBN 80-86840-13-1)(+ CD ROM)
 - [32] GUMULEC, T.- ADOLF, Z. Vliv přidávání CaCN₂ na metalografickou čistotu ocelí. (The influence of adding CaCN₂ on the SBQ steel metallographical cleanliness) In Den
-

Gumulec, T.: *Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním*. Disertační práce.

VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011.

interních doktorandů 2005 Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství 2005.
Ostrava, 12. prosince 2005. s.6-7. ISBN 80-248-0978-8

MOJE PUBLIKAČNÍ ČINNOST BĚHEM POSTGRADUÁLNÍHO STUDIA TÝKAJÍCÍ SE DANÉ PROBLEMATIKY:

1. ZAHRANIČNÍ PUBLIKACE

- [1] Adolf, Z.- Gumulec, T.- Husar, I.: Management of Liquid Steel Properties Ahead of its Continuous Casting. 6th International Symposium „MATERIALS AND METALLURGY“ – Section „B“ Croatia, Šibenik, June 20-24. 2004, METALURGIJA 43 (2004) 3, s. 231 (40), (ISSN 0543-5846)
- [2] Adolf, Z., Pavelec, M., Gumulec, T. ŘÍZENÍ VLASTNOSTÍ TEKUTÉ OCELI PŘED JEJÍM PLYNULÝM ODLÉVÁNÍM. (PROPERTIES CONTROLLING OF THE LIQUID STEEL BEFORE ITS CONTINUOUS CASTING). In: XIV. International Scientific Conference „IRON AND STEELMAKING“. Malá Lučivná, Slovensko, 13.-15.10.2004, ACTA METALLURGICA SLOVACA, mimořádné číslo 3/2004, ročník 10 s. 286-291 (ISSN-1335-1532)
- [3] Adolf, Z.- Suchánek, P.- Gumulec, T.: Theoretical and Experimental Study of the Influence of the Mg in Deoxidisation Al on the Non-Metallic Inclusions Formation in Steel. METALURGIJA 45 (2006) 3, s. 228, ISSN 0543-5846
- [4] Adolf, Z.- Piegza, Z.- Gumulec, T.- Husar, I.: Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním. (*Kontrol of the Properties of Liquid Steel Prior its Continuous Casting*). In: „NOWE TECHNOLOGIE I MATERIAŁY W METALURGII I INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ“. XII. Seminarium Naukowe, Katowice, 7 maja 2004, s. 105-108 (ISBS 83-913330-8-6)
- [5] Gumulec, T. – Adolf, Z.: Methods exploitation of the statistical analysis for defects prediction of the continuously cast billets. In *11th International Students Day of Metallurgy 1.-3. April, 2004 Aachen, Germany*. Aachen: Fachschaft Metallurgie und Werkstofftechnik der RWTH, 2004. s. 72 - 80.
- [6] Adolf, Z.- Gumulec, K.: Porovnání dezoxidační a desulfurační schopnosti vápníku. Comparison of the calcium deoxidation and desulphurisation ability: (Vliv krycích strusek v mezipánvi na metalografickou čistotu bramb). In: „NOWE TECHNOLOGIE I MATERIAŁY W METALURGII I INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ“. XIII Seminarium Naukowe, Katowice, 13 maja 2005, s. 221-224 (ISBS 83-89776-13-8)
- [7] Gumulec, T.- Adolf, Z.: Statistical Analysis of the Chosen Parameters Influence on the Nozzle Clogging in Tundish at SBQ Steel Continuous Casting. *13th International Students' Day of Metallurgy*. Session: Steel and Continuous Casting. 30. 3. – 1. 4. 2006. Montanuniversität Leoben, s. 128-135 (ISBN-3-901384-18-9)
- [8] Adolf, Z.- Gumulec, T.- Suchánek, P.: Zkušenosti s modifikací vměstků v pánvové metalurgii. (*Experiences with modification of inclusions in ladle metallurgy*). In: „NOWE TECHNOLOGIE I MATERIAŁY W METALURGII I INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ“. XIV Seminarium Naukowe, Katowice, 19 maja 2006, s. 131-134 (ISBN 83-89776-14-6)
- [9] Adolf, Z.- Gumulec, T.- Suchánek, P.: Modifikace vměstků v pánvové metalurgii. (*MODIFICATION OF INCLUSIONS IN LADLE METALLURGY*). In: VII. Międzynarodowa konferencja naukowa „NOWE TECHNOLOGIE i OSIĄGNIĘCIA

Gumulec, T.: Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním. Disertační práce.

VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011.

*W METALURGII i INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ**, Częstochowa 2006, Polsko, s. 13-16 (ISBN 83-7193-300-2; ISBN 978-83-7193-300-4; ISSN 1234-9895)

- [10] Adolf, Z.- Mahr, V.- Gumulec, T.- Suchánek, P. POROVNÁNÍ RAFINAČNÍCH ÚČINKŮ KAZIVCOVÉ A KORUNDOVÉ PÁNVOVÉ STRUSKY. (COMPARISON OF THE FLUORITE AND CORUNDUM LADLE SLAG REFINERY EFFECTS.) In XIV. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „ZARZADZANIE w PRZEDSIĘBIORSTWIE“, Szczyrk, 28. 6. – 1. 7. 2006, część 2, s. 233-236 (ISBN 83-912054-4-4, ISBN 978-83-912054-4-0)
- [11] ADOLF, Z., GUMULEC, T., SUCHÁNEK, P. Modification of Inclusions in Ladle Metallurgy. In 1th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS AND TECHNOLOGY SPONSORED BY FEMS AND IUUSTA. Portorož, Slovenia, 13. – 15. 10. 2008. KM-1, s. 59 ISBN 978-961-92518-0-5

2. TUZEMSKÉ PUBLIKACE

- [12] GUMULEC, T. - ADOLF, Z. - HUSAR, I. Možnosti snížení výskytu podpovrchových trhlin u sochorů. In 20. celostátní konference *Teorie a praxe výroby a zpracování oceli 6.-7. dubna, 2004 Rožnov pod Radhoštěm*. Ostrava: TANGER s.r.o. Ostrava, 2004. s. 104 - 113. (ISBN 80-85988-94-1)
- [13] GUMULEC, T. - ADOLF, Z. Calcium exploitation in free-cutting steel production. In *Den interních doktorandů Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství 2004*, 24. listopadu, VŠB-TU Ostrava, Ostrava., 2004, s. 12-13. (ISBN 80-248-0489-1)
- [14] GUMULEC, T., ADOLF, Z., SUCHÁNEK, P. Modification of alumina inclusions to liquid calcium aluminates with the help of CaCN₂. 12th International Students Day of Metallurgy 2005. 26. – 28. May 2005. VŠB-TU Ostrava, s. 30-35. (ISBN-80-248-0760-2)
- [15] GUMULEC, T., ADOLF, Z., SUCHÁNEK, P., PIEGZA, Z. Parametry ovlivňující zarůstání výlevků mezipánve při odlévání SBQ ocelí. (PARAMETERS INFLUENCING NOZZLE CLOGGING IN TUNDUSH AT SBQ STEEL CONTINUOUS CASTING) 14. mezinárodní konference metalurgie a materiálů METAL 2005. Sborník přednášek – Symposium A, © Tanger, spol. s r.o., Ostrava, 24.-26. 5. 2005 Hradec nad Moravicí, č. 210, s. 41 (ISBN 80-86840-13-1)(+ CD ROM)
- [16] Adolf Z.- Husar I.- Moravec R.- Gumulec T.: Results reached at billet quality monitoring on CCM 2 Třinec Steelworks, a.s. In: 5th international metallurgical conference Continuous casting of billets and modelling of steelmaking processes, Třinec, 21.-23.10.2003, s. 209-221. (ISBN 80-239- 0861-8)
- [17] Adof, Z.- Husar, I.- Moravec, Z.- Gumulec, T.- Piegza, Z.: NÁSTROJOVÉ STATISTIKY VYUŽITÉ K IDENTIFIKACI VAD SOCHORŮ A VÝSLEDKY JEJICH APLIKACE. (STATISTICAL TOOLS USED FOR IDENTIFICATION OF BILET DEFECTS AND RESULTS OF THEIR APPLICATION). In: 13. mezinárodní konference metalurgie a materiálů METAL 2003. Sborník přednášek (Proceedings) – Symposium A – posters, © Tanger, spol. s r.o., Ostrava, 18.-20. 5. 2004 Hradec nad Moravicí, č. 158 s. 31 (ISBN 80-85988-95-X) + CD ROM

- [18] Adolf, Z.- Piegza, Z.- Gumulec, T.: Zkušenosti s řízením obsahů Ca, Al, S v tekuté oceli. In: 21. celostátní konference „*Teorie a praxe výroby a zpracování oceli*“. Rožnov pod Radhoštěm, 5.-6. dubna 2005, © TANGER s.r.o. Ostrava, s. 16-20. ISBN 80-86840-08-5
- [19] ADOLF, Z.- BAŽAN, J.- KUČÍREK, P.- GUMULEC, T.: Řízení morfologie vměstků v tekuté oceli. (Control of Inclusion Morphology in Liquid Steel). In 10. konference *PŘÍNOS METALOGRAFIE PRO ŘEŠENÍ VÝROBNÍCH PROBLÉMŮ*. Lázně Libverta, 14. -17. 6. 2005. s. 9-13. ISBN 80-01-03251-5
- [20] Gumulec, R.- Adolf, Z.: Statistický rozbor odlévatelnosti SBQ ocelí. In: XV. International Scientific Conference „IRON AND STEELMAKING“. Sekce II – Technologie výroby oceli. 2005 Malenovice, s. 307-310, ISBN 80-248-0947-8
- [21] GUMULEC, T.- ADOLF, Z. Vliv přidávání CaCN_2 na metalografickou čistotu ocelí. (The influence of adding CaCN_2 on the SBQ steel metallographical cleanliness) In Den interních doktorandů 2005 Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství 2005. Ostrava, 12. prosince 2005. s.6-7. ISBN 80-248-0978-8
- [22] Adolf, Z.- Suchánek, P.- Gumulec, T.- Sikora, R.: Vliv oxidické struskotvorné přísady na proces odfosfoření oceli. In. 22. celostátní konference se zahraniční účastí „*TEORIE A PRAXE VÝROBY A ZPRACOVÁNÍ OCELI*“. Rožnov pod Radhoštěm, 4.-5. dubna 2006, © TANGER s.r.o. Ostrava, s. 68-74. ISBN 80-86840-15-8
- [23] Suchánek, P.- Gumulec, T.- Adolf, Z.: Experimentální ověření vlivu hořčíku v dezoxidačním hliníku na morfologii vměstků. In. 22. celostátní konference se zahraniční účastí „*TEORIE A PRAXE VÝROBY A ZPRACOVÁNÍ OCELI*“. Rožnov pod Radhoštěm, 4.-5. dubna 2006, © TANGER s.r.o. Ostrava, s. 80-85. ISBN 80-86840-15-8
- [24] Adolf, Z.- Suchánek, P.- Gumulec, T.: VLIV STRUSKY NA RAFINAČNÍ PROCESY V KYSLÍKOVÉM KONVERTORU. (THE INFLUENCE OF THE SLAG ON THE REFINING PROCESSES IN THE OXYGEN CONVERTER). In: 15. mezinárodní konference metalurgie a materiálů METAL 2006. Sborník přednášek – Symposium A, © TANGER, spol. s r.o., Ostrava, 23.-25. 5. 2006, Hradec nad Moravicí, č. 211, s. 32 (ISBN 80-86840-18-2) + CD ROM
- [25] Válek, L.- Pyszko, R.- Příhoda, M.- Fojtík, L – Gumulec, T.: Vývoj a ověření modelu tuhnutí pro sochorové ZPO v podmínkách ArcelorMittal Ostrava, a.s. In: Vědecká konference „*TEPELNÁ TECHNIKA V TEORII A PRAXI*“. Ostravice, 31.8.-2.9.2011, s.188-195. ISBN 978-80-248-2463-5

3. ZÁVĚREČNÉ ZPRÁVY

- [26] Adolf, Z.- Klimek, K.- Bažan, J.- Piegza, Z.- Horáková, D.- Szlauer, J.- Kuře, F.- Lasota, R.- Husar, I.- Valek, P.- Gumulec, T.- Raszka, K.- Moravek, R.- Burda, P.- Salva, O.- Szymanik, R.- Cieslar, R.-Chlad, J.: Vývoj modelu predikce kvality kontinuálně litých sochorů se zohledněním požadavků na finální výrobek. /Oponovaná závěrečná zpráva grantového projektu GAČR 106/01/0366/. VSB-TU Ostrava, 2003, 92 s.
- [27] Adolf, Z.- Bažan, J.- Dobrovský, L.- Horáková, D.- Gumulec, T.: Výzkum, návrh a verifikace technologického postupu pro přímé zjištění obsahu P v oceli a přímého

odpichu oceli po zkujnění v kyslíkovém konvertoru. (Výzkumný úkol TTÚ-409/A5 – Podkladový materiál pro přípravu řešení projektu/. HS 618408. Ostrava prosinec 2004, 25 s.

PŘÍLOHY

Tavební list KKO

efic.č.tavby		int.č.tavby		datum		start		kon.odpichu		doba odp.		značka		DTP		zp.odl.		cesta MPZ			
53220		243		09.05.05		00.41		01.12		0.20		C35RKL		4453		2		HPV			
konvertor	směna	mintr	taxit	operátor		kartpač/p.t.		tryska/p.t.		patern tr.		patern dáv.		patern k.d.		hmotnost					
I	C	301	310	313		280 / 6		0 / 0		5 / 24		16 / 10		2 / 2		190					
uhlik	tepnota	bazilita		ruž.fouk.		pladeh/ev		typ an.		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ti	tepnota	struska			
0.04	1040	2.10		PSR1		N		4.56	0.38	0.72	0.023	0.010	0.05	0.02			1367M	10			
volška	sur.železo	žrot	nat.ocel	vsázka celk.		číslo koryt / mixkód								všley dílčích typů žrotu							
požad. měření	143.0 143.0M	60.6 60.3	204.2 204.0		1	2	3							Konstr	OcSiM	BuSi	Balky				
plis.KK		Uhlí	KoksI	Koks	Antr	AgloP	CaO		AgloI	CaF2		ŠurDa	ŠurD1	ŠurMg	Caust						
kód	225	224	217	240	204	214	200		215	214		235	247	227							
požad.	1.500	0.699	1.455		5.000		7.451														
póda					2.090M																
žrot	1.600R	1.000M		0.000	0.000		1.000R														
10P			1.405M		5.133M		4.553M														
10																					
20																					
30																					
40																					
struska	0.100M											0.485M			0.400M						
celkem	1.750	2.480		5.133		7.737		0.485								0.400					
kyslík		ohřev	zážeh	hl.fouk.		1.dofuk		2.dofuk		3.dofuk		4.dofuk		celkem		přiz.dof.					
požadavek	1000	10005		0																	
měření	1207	311		11042M												0					
začátek	00.28	00.41		00.42		:		:		:		:									
konec	00.35	00.42		01.03		:		:		:		:									
anal.		typ	C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo	W	V	As	Sn	Sb	Co	tepnota	akt.O	žus	
OCEK	0.043	0.097	0.015		0.024													9143			
POUK	0.019	0.070	0.004	0.018	0.031	0.050	0.009	0.030	0.005	0.000	0.001	0.002	0.004	0.002		1041M		0	01.04		
																				:	
																				:	
																				:	
analýza strusky		Fe		CaO		SiO2		MgO		MnO		S		P2O5		Cr2O3		TiO2		baz.	bezstr.odp.
		25.40		43.29		9.50		7.12		3.00		0.10		1.17		0.50		0.25		4.54	6
plis.LP		CAO		REC2		ALQ		MWSIK		FESIK		ZLOMS		LPKK							
kód	214	223		175		148		141		222		1									
požad.	1200	150		1550M		481M		608M		12											
měření	1107M	735M		1552		1550M		481M		608M		12									
prostoj	08.05.05	301		-		-		-		-		-									
		23.56		20		:		:		:		:									
příznak KO		1		spotř.inert.plynu		celkem		hl.foukání		dokončení		přepnutí inert.plynu									
předpis KO knh.		2		N2		0		18		-87		čas		01.00.50	01.12.27						
předpis KO skut.		2		Ar		0		2		-2		na		Ar	N2						
profuky inert.plymem										lci pánev		10									
čas		:		:		:				druh plynu		Ar									
doba										začátek foukání		01.00.37									
druh										konec foukání		01:11.07									
množství										náfoukání množství		1.74									

Obr. 25 Tavební list kyslíkového konvertoru tavby X₁

PROTOKOL O MIMOPEČNÍM ZPRACOVÁNÍ TŽ a.s.11.05.2005 09:45:07

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv: 1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:1

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:2

Typ lití-plán:2 Cesta WPZ-plán:HPV Sekv:3

Typ lití-plán:

HLÁŠENÍ O TAVBĚ NA ZAŘÍZENÍ PLYNULÉHO ODLEVÁNÍ OCELI Č. 2

Odlito dne: 08.05.05 Třísťeno: 11.5.2005 9:47:24 Uzavření tavby paličky: 708 velín: 702

Číslo tavby: 53220 DTP: 4453 Hut.ozn.: C35RKL Rodina: D45 Směna: C Mistr: 398 Operator 702

Číslo ZPO2: 452531 Konvertor: 1 Číslo sekvence: 361 Pořadí v sekv.: 1 Format 1-4: 150X150 Format 5-8: 150X150

	C	MN	SI	P	S	CU	CR	NI	ALC	MO	W	V	TI	CO
MIN	0.3200	0.5000	0.1500		0.0200				0.0200					
MAX	0.3900	0.8000	0.4000	0.0300	0.0400	0.2000	0.4000	0.4000	0.0300	0.1000				
PEC	0.371	0.69	0.262	0.024	0.030	0.07	0.06	0.03	0.017	0.006	0.01	0.001	0.0022	0.002
FINAL	0.368	0.69	0.263	0.023	0.026	0.07	0.07	0.03	0.015	0.010	0.01	0.003	0.0024	0.003

	AS	SN	B	NB	SB	PB	AL	N	H	CAC	ZR	Tepl.likvida	Čas
MIN												1501	
MAX									3.0000			1486	
PEC	0.003	0.004	0.0007	0.002	0.003	0.0012				0.0036	0.012	1492	03:47:36
FINAL	0.002	0.004	0.0008	0.002				0.0052	2.20	0.0023		1493	05:46:37

		LICÍ PÁNEV		MEZIPÁNEV		levá 1	levá 2	pravá 1	pravá 2	HMOTNOST [tun]	
Odpich konvertoru	01:05	Číslo	10	Číslo	11	0	31	0	Způsob vážení	Jeřab	
Příjezd na MPZ	01:13	Posl.teplota	1581	Věk [taveb]	857	0	874	0	LP před litím	262.2	
Konec mimopec.zprac.	03:45	Tara [tun]	78.3	Doba ohřevu	210	0	220	0	LP po lití	79.5	
Příjezd na lici stojan	03:50	Posl. aktiv.O2	0	Tepl. ohřevu	1200	0	1200	0	Tekutá ocel	182.7	
Pánev v lici pozici	03:56	Licí rameno	2	Krycí struska	RR		RR		Vracená ocel	0 R	
1. otevření pánve	03:58	Doba lití [min]	60	Zatková tyč	35506	0	35506	0	Propal + okuje	0.9	
1.uzavření pánve	04:58	04:58	Propalování	0	0	27487	0	27487	0	Odpad přední/zadní	5.4
2. otevření pánve			Stínící trubice	1	1	Slítek	0	0	0	Hmotnost šrot	0
2.uzavření pánve			Homogenizace	0	min	Použití O2 [min]	0	0	0	Hmotnost sochorů	179.2
										Odlitá hmotnost	176.4
										Havarijní pánev	0

Poznámka:

Délka sochorů [mm]	1: 11900	2: 0	sm.zac.: 0	sm.kon.: 11900	1: 11900	2: 0	sm.zac.: 0	sm.kon.: 11900	
Proud	1	2	3	4	5	6	7	8	Celkem
Otevření proudy	04:01	04:00	04:01	04:00	04:13	04:14	04:13	04:14	
Uzavření proudy	05:07	05:07	05:07	05:07	05:08	05:08	05:08	05:08	
Kod ztráty proudy									
Číslo krystalizatoru	10	3	5	11	1	9	8	7	
Věk krystaliz.	2923	8440	3914	3591	7754	4285	7917	7737	
Křivka chlazení	09A	09A	09A	09A	09A	09A	09A	09A	
M-EMS [A]	208	209	208	208	209	207	209	210	
S-EMS [A]	72	72	73	71	72	71	71	70	
Průměrná rychlost	2.2	2.2	2.2	2.2	2.24	2.2	2.23	2.21	
Počet sochorů délka 1	9 R	9 R	8 R	8 R	6 R	6 R	6 R	6 R	58
Počet sochorů délka 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Počet směsných začát.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Počet směsných konec	3 R	3 R	3 R	4 R	4 R	4 R	4 R	4 R	29
Počet vzorků	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Délka začátku [mm]	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900	31200
Délka konce [mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Licí prášek	0704 S6	0704 S6	0704 S6	0704 S6	0704 S6	0704 S6	0704 S6	0704 S6	Dat.vyr. / Typ
Čas měření	04:00	04:07	04:24	04:38	04:52	04:13	04:21		
Tepl v MP	1549	1547	1550	1549	1542	1544	1546	1546	
Hmotn. v MP	10.00	12.40	12.20	12.30	12.20	12.30	9.70	12.30	
Přehřátí	57	55	58	57	50	52	54	54	
Hmotn. v LP	172.6	157.9	112.2	70.6	20.8	19.5	138.80	119.9	
Aktivita O2	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr. 27 Hlášení o tavbě X₁ na ZPO č.2

Tavební list KKO

ofic.č.javby		int.č.javby		datum		start		kon.edpislu		doba edp.		značka		DTP		zp.odl.		cena MP2								
59222		245		09.05.05		01:42		02:12		5:48		C35R/Q		4453		2		HPV								
konvertor		směna		mistr		tařič		operátor		kampan/vp.t.		tryska/p.t.		patern tr.		patern dāv.		patern k.d.		hmotnost						
I		C		30T		310		315		250 / 0		0 / 0		2 / 28		6 / 6		2 / 2		180						
uhlik		teplota		bazilita		red.fouk.		předehřev		typ an.		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ti	teplota		struska					
0.04		1040		2.16				PGR1		H		4.604	0.45	0.70	0.003	0.010	0.05	0.03	1381M		8					
vsazka		ser.lelezo		šrot		nat.ocel		vsazka celk.		číslo koryt / mlakád								výhy dilcích typů šrotu								
požad. měření		135.3 135.3M		57.6 57.8				102.9 103.0		1 17 / 19		2 2 / 2		3		Kovskr 45.6		OcS/Ml 7.4	Balky 4.8							
plis.KK		UHf		Koks1		Koks	Antr	AgtoP		CaO		Agto1		CaF2		SurDo		SurD1		SurMg		Caust				
kód		225		224		217		249		204		214		205		215		234		235		247		227		
požad.		1.599		0.699				1.455				4.735		6.947												
půda														2.688M												
šrot		1.610M						0.955M						1.084M												
HF								1.455M				4.836M		3.995M												
1D																										
2D																										
3D																										
4D																										
struska		0.161M														0.610M								0.610M		
celkem		1.701						2.410				4.836		7.165		0.610M 0.610								0.610		
		kyalik		ohřev		zžehh		hl.fouk.		1.dořuk		2.dořuk		3.dořuk		4.dořuk				celkem		přít.doř.				
požadavek		1050						10097		0																
měření		1410		106				10253M		419M														0		
začátek		01:23		01:42		01:43		01:43		02:03		:		:		:		:								
konec		01:30		01:43		02:02		02:04		02:04		:		:		:		:								
anal.		typ		C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo	W	V	As	Sr	Sb	Co	teplota		akt.O		čas			
		OCEK		0.043	0.114	0.017		0.024													1567					
		FOUK		0.072	0.140	0.005	0.026	0.003	0.060	0.050	0.009	0.006	0.009	0.001	0.003	0.004	0.001		1625M		9		02.03			
analýza strusky				Fe		CaO		SiO2		MgO		MnO		S		P2O5		Cr2O3		TiO2		baz.		bezstr.odp.		
				21.70		42.10		12.66		7.53		4.26		0.07		1.21		0.68		0.38		3.33		6		
plis.LP		CAO		REC2		ALG		MNSIK		FESIK		ZLOMS		LPKK												
kód		214		223		175		148		141		222		1												
požad.		1200										209														
měření		1107M		684M		155Z		1430M		407M		605M		1Z												
prostoje		09.05.05 01:12				:		:		:		:		:		:		:								

Obr. 28 Tavební list kyslíkového konvertoru tavby X_2

PROTOKOL O MIMOPEČNÍM ZPRACOVÁNÍ TŽ a.s.11.05.2005 09:45:05									
Datum:09.05.2005 02:14:02 Kon.: 1 Tavba-ofi: 53222 DTP plán: 4453 Kvalita-plán:C35RKL									
Zakázka: 33020732 int: 245 skut: 4453									
Panev číslo: 13 Hm.oc.sku: 176.8									
Počet taveb: 3									
Odp-kon: 02:12:24 Počet tav.kom.: Entalp. po ohřevu: 857.97									
Lit-zač: 05:00:00 Teplota komory: Entalp. před odp.: 809.8									
PRŮBĚH ZPRACOVÁNÍ: (data: T Pl IntNS Spotř)									
Sta	Datum	Od	Do	Doba	Podp	Oper	z knihovny	PŘÍSAHY:	
Sta	Čas	Čís	T C	Čís	Čís	Čís	Čís	Sta	Čas
AR1	09.05	02:14	02:28	871	330	1.R	HOMOGENIZACE	AR1	02:25
AR1	Dmých:	02:14	00:00	0	S	A	0.00	AR1	02:25
AR1	Dmých:	02:14	02:19	295	H	A	3.19	PEC	02:52
HOM	09.05	03:22	03:49	1634	0	3.R	HOMOGENIZACE	PEC	03:08
PEC	09.05	02:40	03:18	2243	328	2.	VAKUOVANI	PEC	03:16
PEC	Dmých:	02:41	03:17	2141	S	A	211	PEC	03:17
PEC	Ohrev:	02:45	02:50	310	9	1980.00		PEC	04:06
PEC	Ohrev:	02:57	02:57	4	9	0.00		PEC	04:10
PEC	Ohrev:	02:57	03:07	592	9	3860.00		VAK	04:21
PEC	09.05	03:50	04:11	1264	328	4.R	VAKUOVANI	VAK	04:21
PEC	Dmých:	03:50	04:11	1218	S	A	111	VAK	04:30
PEC	Ohrev:	03:51	03:55	231	10	1610.00		VAK	04:31
PEC	Ohrev:	03:59	04:02	178	9	1190.00		VAK	04:38
PEC	Ohrev:	04:09	04:10	60	9	330.00			
VAK	09.05	04:15	04:40	1490	329	5.R	VAKUOVANI		
VAK	Dmých:	04:17	04:28	640	N	A	663		
VAK	Dmých:	04:26	04:36	625	S	A	72		
VAK	Dmých:	04:32	04:38	360	N	A	661		
Vakuování:	04:20	04:27	854	Celk_vak:	951				
ANALÝZA STRUSKY:									
Sta	Čas	Čís	T C	FE	FEO	MNO	SI	P	S
PEC	03:58	1. S	1.567	0.81	21.2	17.7	44.720	6.81	0.20
PEC	04:11	2. S	1.3	0.81	21.2	17.7	44.720	6.81	0.20
ANALÝZA OCELI:									
Sta	Čas	Čís	T C	MN	SI	P	S	CU	CR
DTP	predp.	min:	0.3600	0.6000	0.2000				
DTP	predp.	max:	0.3800	0.8000	0.3000	0.0250	0.0360		
AR1	02:21	1. P	0.290	0.55	0.207	0.022	0.027	0.05	0.06
PEC	03:58	2. P	0.324	0.73	0.218	0.024	0.029	0.05	0.06
PEC	04:11	3. P	0.324	0.73	0.218	0.024	0.032	0.05	0.06
VAK	04:33	4. P	0.373	0.73	0.224	0.024	0.031	0.05	0.06
VAK	04:39	5. H							
FINÁLNÍ ANALÝZA OCELI:									
Čas	Čís	T C	MN	SI	P	S	CU	CR	NI
05:48	6. F	0.372	0.73	0.221	0.023	0.030	0.06	0.07	0.03
B	CA	H	CC	N	NB	ZR	SB	W	O
0.0005	0.0019								
0.0043	0.002								
0.01									
DTP předpis: 1563-1568									
AR1	02:20	1581							
PEC	02:56	1572							
PEC	03:56	1600							
PEC	04:08	1607							
VAK	04:33	1578							
VAK	04:37	1576							
TEPLOTY:									
Sta	Čas	Tep	Pl	Kv	Akt	Kv			
DTP	02:20	1581							
PEC	02:56	1572							
PEC	03:56	1600							
PEC	04:08	1607							
VAK	04:33	1578							
VAK	04:37	1576							

Obr. 29 Protokol o mimopecním zpracování tavby X₂

HLÁŠENÍ O TAVBĚ NA ZAŘÍZENÍ PLYNULÉHO ODLEVNÍ OCELI Č. 2

Odlito dne: 08.05.05 Tištěno: 11.5.2005 9:47:56 Uzavření tavby paličky: 505 velin: 502

Číslo tavby: 53222 DTP: 4453 Hut.ozn.: C35RKL Rodina: D45 Směna: C Mistr: 398 Operator 702

Číslo ZPO2: 452532 Konvertor: 1 Číslo sekvence: 361 Pořadí v sekv.: 2 Format 1-4: 150X150 Format 5-8: 150X150

	C	MN	SI	P	S	CU	CR	NI	ALC	MO	W	V	TI	CO
MIN	0.3200	0.5000	0.1500		0.0200				0.0200					
MAX	0.3900	0.8000	0.4000	0.0300	0.0400	0.2000	0.4000	0.4000	0.0300	0.1000				
VAK	0.373	0.73	0.224	0.024	0.031	0.05	0.06	0.03	0.025	0.005	0.01	0.003	0.0020	0.002
FINAL	0.372	0.73	0.221	0.023	0.030	0.06	0.07	0.03	0.022	0.008	0.01	0.003	0.0021	0.002
	AS	SN	B	NB	SB	PB	AL	N	H	CAC	ZR		Tepl.likvida	Čas
MIN													1501	
MAX									3.0000				1486	
VAK	0.003	0.003	0.0005	0.002	0.003	0.0013				0.0030	0.205		1492	04:41:10
FINAL	0.003	0.003	0.0005	0.002				0.0043	2.10	0.0019			1492	06:17:11

		LICÍ PÁNEV		MEZIPÁNEV		levá 1	levá 2	pravá 1	pravá 2	HMOTNOST [tun]	
Odpich konvertoru	02:06	Číslo	13	Číslo	11	0	31	0	Způsob vážení	Jeřab	
Příjezd na MPZ	02:14	Posl.teplota	1576	Věk [taveb]	858	0	875	0	LP před litím	257.3	
Konec mimopec.zprac.	04:40	Tara [tun]	80.1	Doba ohřevu	0	0	0	0	LP po lití	81	
Příjezd na lici stojan	04:44	Posl. aktiv.O2	0	Tepl. ohřevu	0	0	0	0	Tekutá ocel	176.3	
Pánev v lici pozici	04:59	Licí rameno	1	Krycí struska	RR		RR		Vracená ocel	0 R	
1. otevření páneve	05:01	Doba lití [min]	54	Zatková tyč	35506	0	35506	0	Propal + okuje	0.9	
1.uzavření páneve	05:54	Propalování	0	Vylevky	27487	0	27487	0	Odpad přední/zadní	0	
2. otevření páneve		Stínící trubice	1	Slitek	0	0	0	0	Hmotnost šrot	0	
2.uzavření páneve		Homogenizace	0	Použití O2 [min]	0	0	0	0	Hmotnost sochorů	181.3	
									Odlitá hmotnost	175.4	
									Havarijní pánev	0	

Poznámka:

Délka sochorů [mm]	1: 11900	2: 0	sm.zac.: 11900	sm.kon.: 11900	1: 11900	2: 0	sm.zac.: 11900	sm.kon.: 11900	
Proud	1	2	3	4	5	6	7	8	Celkem
Otevření proudu	05:07	05:07	05:07	05:07	05:08	05:08	05:08	05:08	
Uzavření proudu	06:03	06:03	06:03	06:03	06:03	06:03	06:03	06:03	
Kod ztráty proudu									
Číslo krystalizatoru	10	3	5	11	1	9	8	7	
Věk krystaliz.	2946	8463	3935	3612	7779	4308	7942	7760	
Křivka chlazení	09A	09A	09A	09A	09A	09A	09A	09A	
M-EMS [A]	210	208	208	208	209	211	210	208	
S-EMS [A]	71	72	72	71	71	71	71	70	
Průměrná rychlost	2.29	2.32	2.3	2.29	2.29	2.28	2.31	2.29	
Počet sochorů délka 1	4 R	4 R	4 R	4 R	4 R	4 R	4 R	4 R	32
Počet sochorů délka 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Počet směsných začát.	4 R	4 R	3 R	3 R	3 R	3 R	4 R	3 R	27
Počet směsných konec	3 R	3 R	3 R	3 R	5 R	4 R	4 R	4 R	29
Počet vzorků	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Délka začátku [mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Délka konce [mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Licí prášek	0704 S6	0704 S6	0704 S6	0704 S6	0704 S6	0704 S6	0704 S6	0704 S6	Dat.vyr. / Typ
Čas měření	05:05	05:21	05:21	05:36	05:51				
Tepl v MP	1543	1549	1549	1543	1539				
Hmotn. v MP	11.80	12.20	12.10	12.30	12.20				
Přehřátí	51	57	57	51	47				
Hmotn. v LP	169.3	118.4	115.9	70.4	16.6				
Aktivita O2	0	0	0	0	0				

Obr. 30 Hlášení o tavbě X₂ na ZPO č.2

PROTOKOL O MIMOPECNÍM ZPRACOVÁNÍ TŽ a.s.11.05.2005 09:45:01

Datum:09.05.2005 03:37:54 Kon.: 2 Tavba-ofi: 53224 DTP plán: 4453 Kvalita-plán:C35RKL
Zakázka: 33020732 int: 248 skut: 4453

Panev kříslo: 15 Hm.oc.sku: 189.3
Počet taveb: 66

Visr. tel.:36294

Typ lití-plán:2 Cesta MPZ-plán:HPV Sekv: 33
skut:2

Odp-kon: 03:36:49 Počet tav.kom.:
Lit-zač: 05:56:00 Teplota komory:

Entalp. po ohřevu:
Entalp. před odp.: 600.

PRŮBĚH ZPRACOVÁNÍ: (data: T Pl Intns Spotř)

Sta Datum Od Do Doba Podp Oper z knižovny

AR2	09.05	03:37	03:49	682	333	1. R	HOMOGENIZACE	AR2	03:47	LPMPZ	1R	DTP předpis: 1563-1568
AR2	Dmých:	03:38	00:00		0	A	0.00	AR2	03:48	ALS	33R	AR2 03:46 1587
AR2	Dmých:	03:39	00:00		380	H	4.18	PEC	04:27	FEMND	100	112 1 1574
HOM	09.05	03:53	04:14	1280	0 2. R HOMOGENIZACE			PEC	04:37	ALS	44R	PEC 04:30 1600
HOM	Dmých:	03:53	04:12	1125	S	A	0.80	PEC	04:42	SIRAP	44	44 34 4.0 1597
PEC	09.05	04:22	05:07	2710	328	3. R	VAKUOVANI	PEC	04:55	LPMPZ	1R	PEC 05:05 1601
PEC	Dmých:	04:22	04:40	1609	S	A	300	PEC	05:00	SIRAP	6	6 34 4.0 1568
PEC	Dmých:	04:40	05:07	1039	S	A	222	PEC	05:01	FEMND	44	54 1 119 126 1
PEC	Ohrev:	04:23	04:23	7	9		0.00	VAK	05:19	RECL	119	126 1
PEC	Ohrev:	04:23	04:28	291	PEC		0.00	VAK	05:19	MNSID	45	46 4
PEC	Ohrev:	04:31	04:36	318	10		2240.00	VAK	05:20	ALG	42	41 9
PEC	Ohrev:	04:43	04:46	169	9		1050.00	VAK	05:28	SICAP	48	47 32 4.0
PEC	Ohrev:	04:53	04:56	179	10		1220.00	VAK	05:30	LPMPZ	1R	
PEC	Ohrev:	05:05	05:06	3	9		0.00	VAK	05:31	RH	12R	
PEC	Ohrev:	05:06	05:06	48	9		260.00	VAK	05:31	PLEVY	10R	
VAK	09.05	05:11	05:36	1473	329	4. R	VAKUOVANI					
VAK	Dmých:	05:14	05:25	684	N	A	664					
VAK	Dmých:	05:24	05:33	556	S	A	105					
VAK	Dmých:	05:29	05:34	331	N	A	661					
Vakuování:	05:18	05:25	717	Celk_vak: 807								

ANALÝZA SUTRSKY:

Sta Čas Čís T FE FEO MNO SIO2 AL2O3 CAO MGO S P2O5 BAS CR2O3 TIO2 CAF2 X4 X5 X6

PEC	04:40	1. S	1.645	1.30	23.4	18.0	40.14	8.11	0.11	0.01	1.72	0.02	0.54	1.21	
PEC	04:50	2. S	1.5												

ANALÝZA OCELI:

Sta Čas Čís T C MN SI P S CU CR NI AL MO CO V TI SN B CA H N NB SB

DTP	predp. min:	0.3600	0.6000	0.2000		0.0300									
DTP	predp. max:	0.3800	0.8000	0.3000	0.0250	0.0360									
AR2	03:48	1. P	0.290	0.60	0.219	0.022	0.020	0.04	0.05	0.02	0.013	0.002	0.0002	0.0002	
PEC	04:50	2. P	0.309	0.66	0.216	0.022	0.034	0.04	0.05	0.02	0.011	0.003	0.002	0.0002	0.0014
PEC	05:04	3. P	0.308	0.68	0.212	0.023	0.034	0.04	0.05	0.02	0.009	0.003	0.001	0.0016	0.0002
PEC	05:30	4. P	0.371	0.69	0.221	0.023	0.029	0.04	0.05	0.02	0.023	0.004	0.003	0.0018	0.0002
VAK	05:30	5. H													
VAK	05:35														2.500

FINÁLNÍ ANALÝZA OCELI:

Čas Čís T C MN SI P S CU CR NI AL MO CO V TI SN B CA H N NB SB

08:10	6. F	0.376	0.70	0.217	0.022	0.029	0.04	0.06	0.03	0.021	0.007	0.002	0.003	0.0018	0.002	0.002
-------	------	-------	------	-------	-------	-------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	--------	-------	-------

0.0002 0.0016

0.0063 0.002

0.01

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

0.002 0.002

0.001 0.001

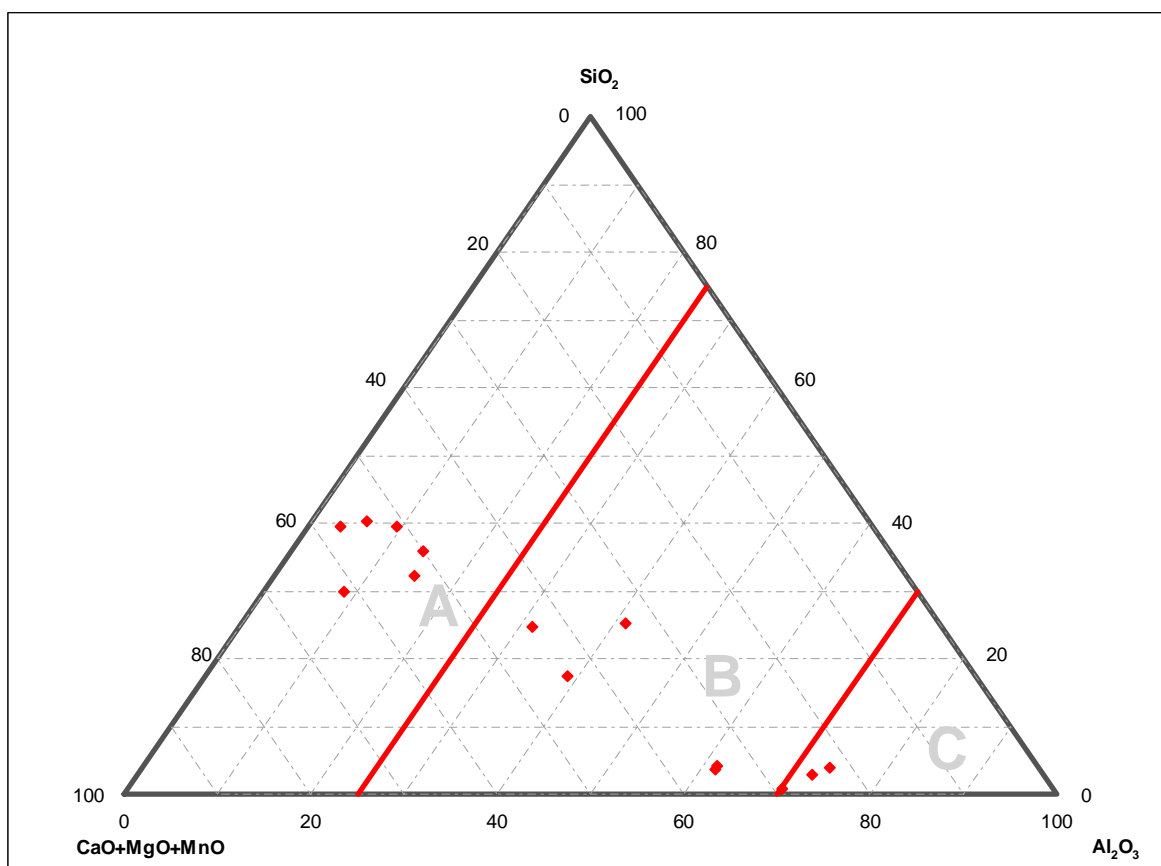
0.002 0.002

0.001 0.001

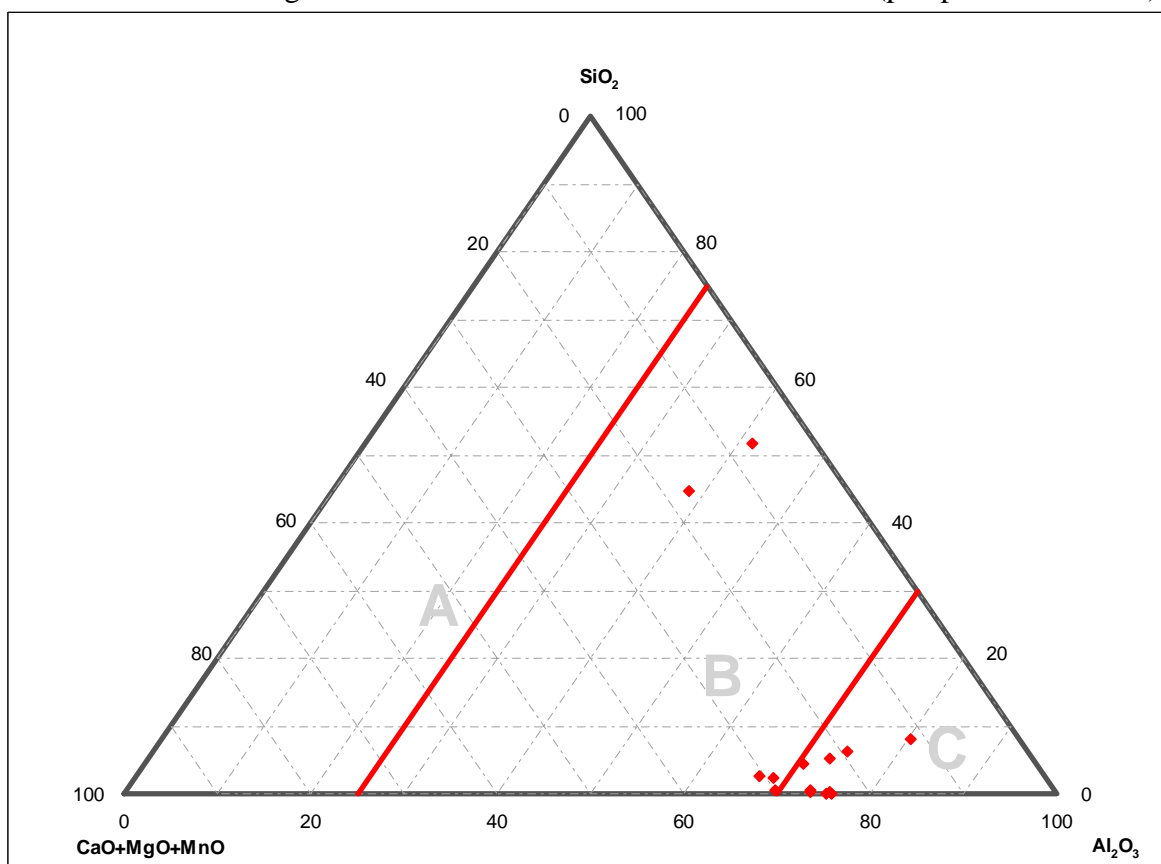
0.002 0.002

0.001

Obr. 32 Protokol o mimopecním zpracování tavby X_3



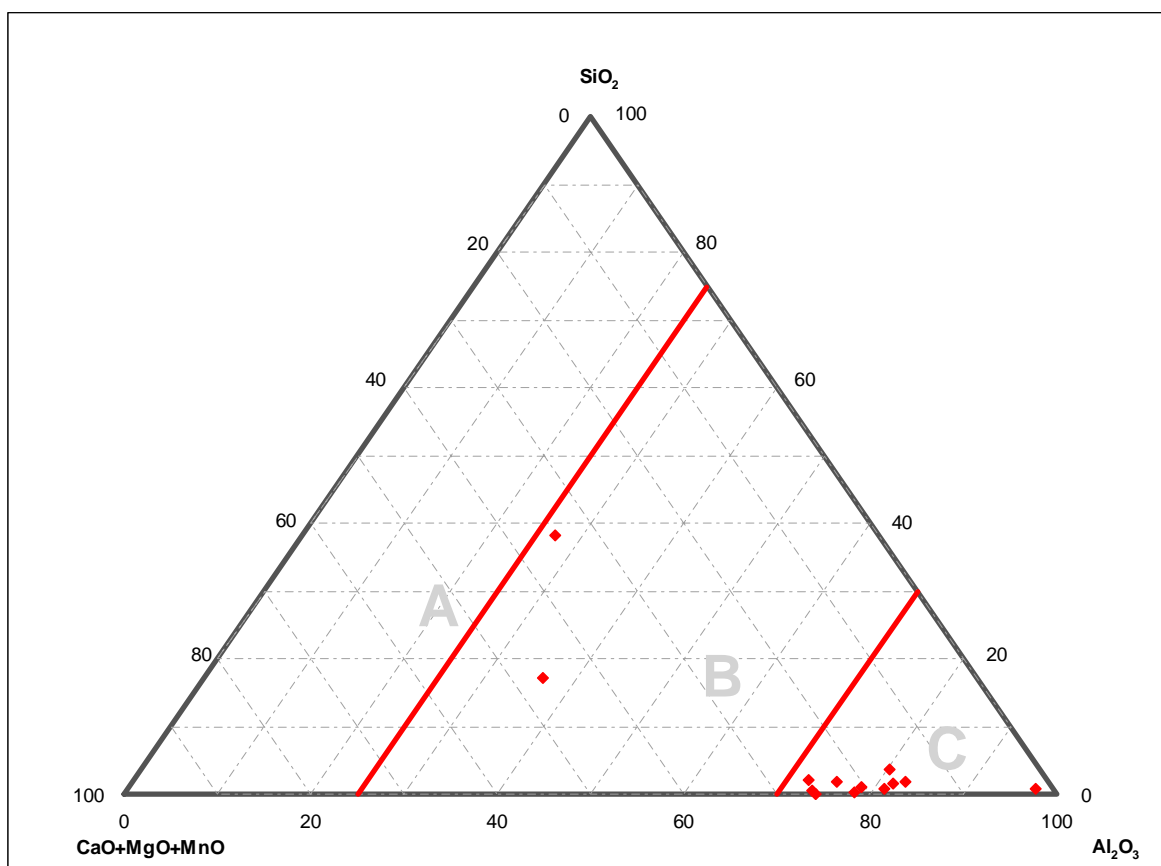
Obr. 34 Ternární diagram chemického složení vměstků vzorku A₁ (po zpracování na PP)



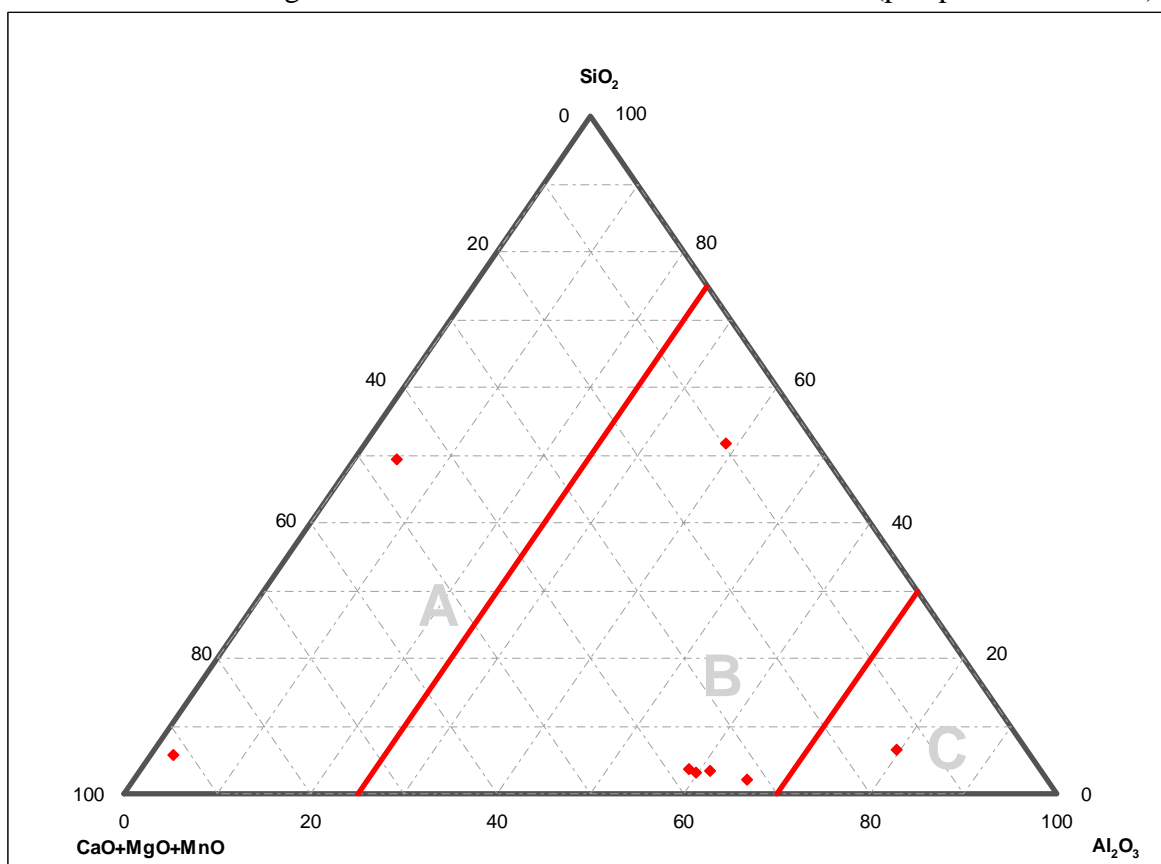
Obr. 35 Ternární diagram chemického složení vměstků vzorku B₁ (po zpracování na PP)

Gumulec, T.: *Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním*. Disertační práce.

VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011.



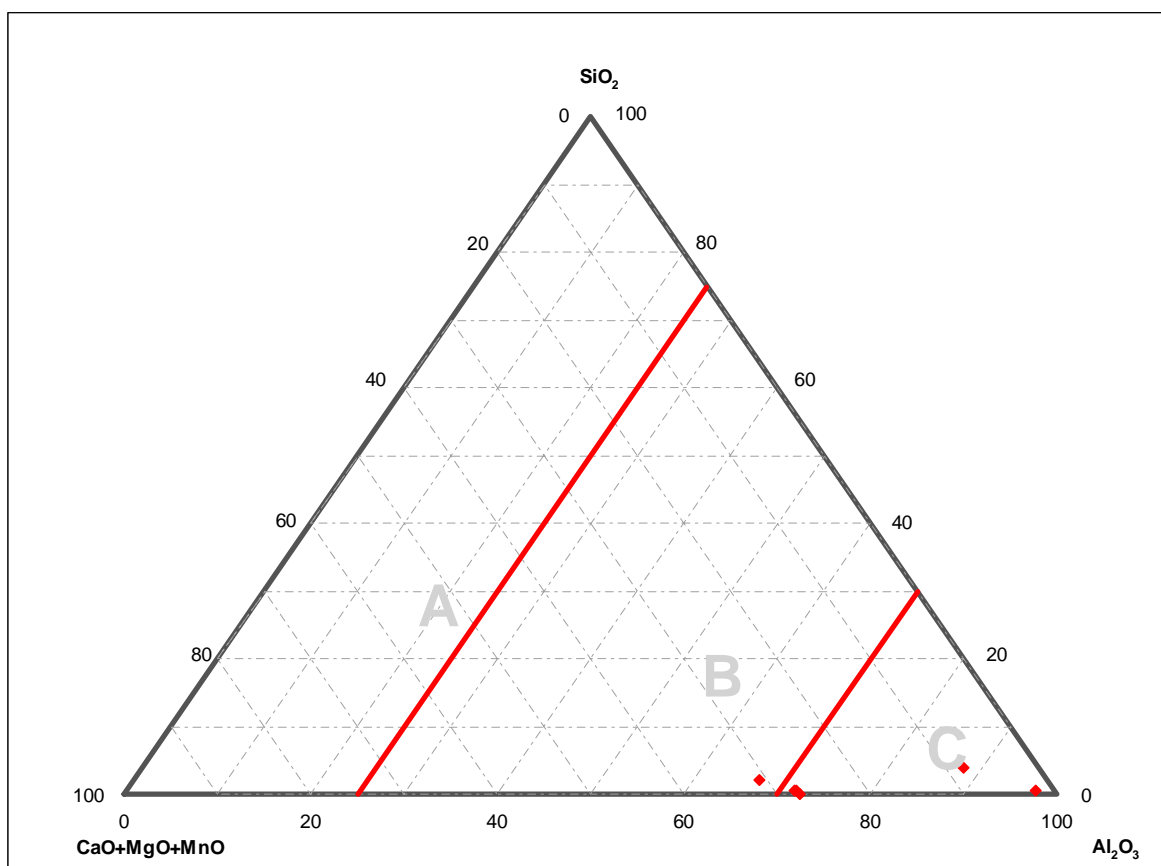
Obr. 36 Ternární diagram chemického složení vměstků vzorku C₁ (po zpracování na PP)



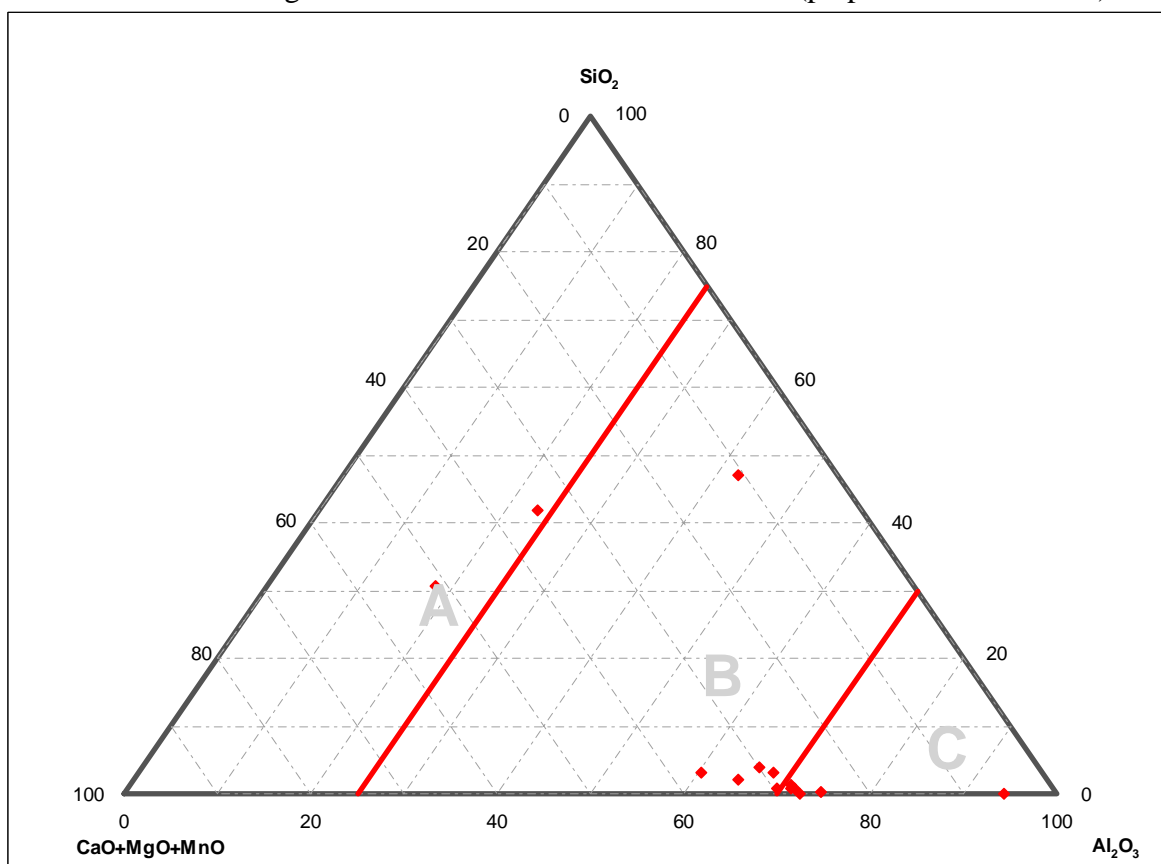
Obr. 37 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku A₂ (po přidání CaSi na RH)

Gumulec, T.: *Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním*. Disertační práce.

VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011.



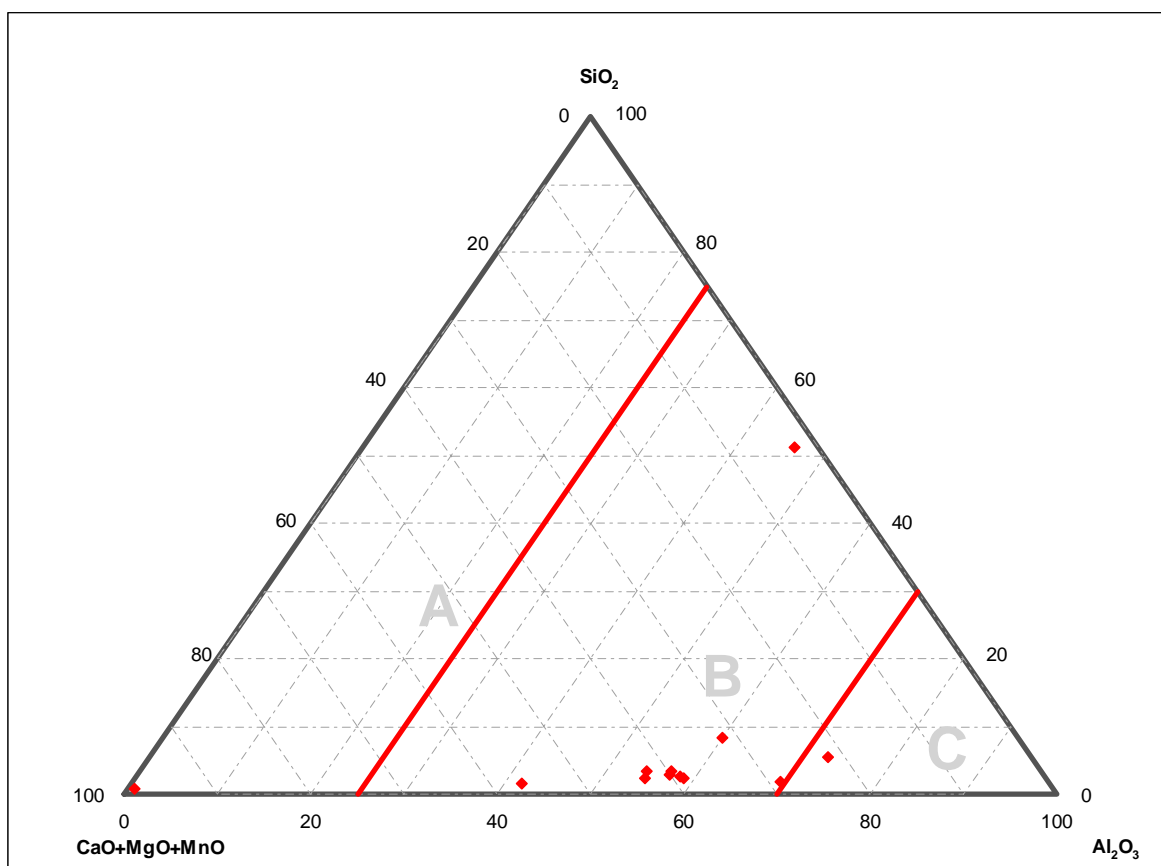
Obr. 38 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku B₂ (po přidání CaSi na RH)



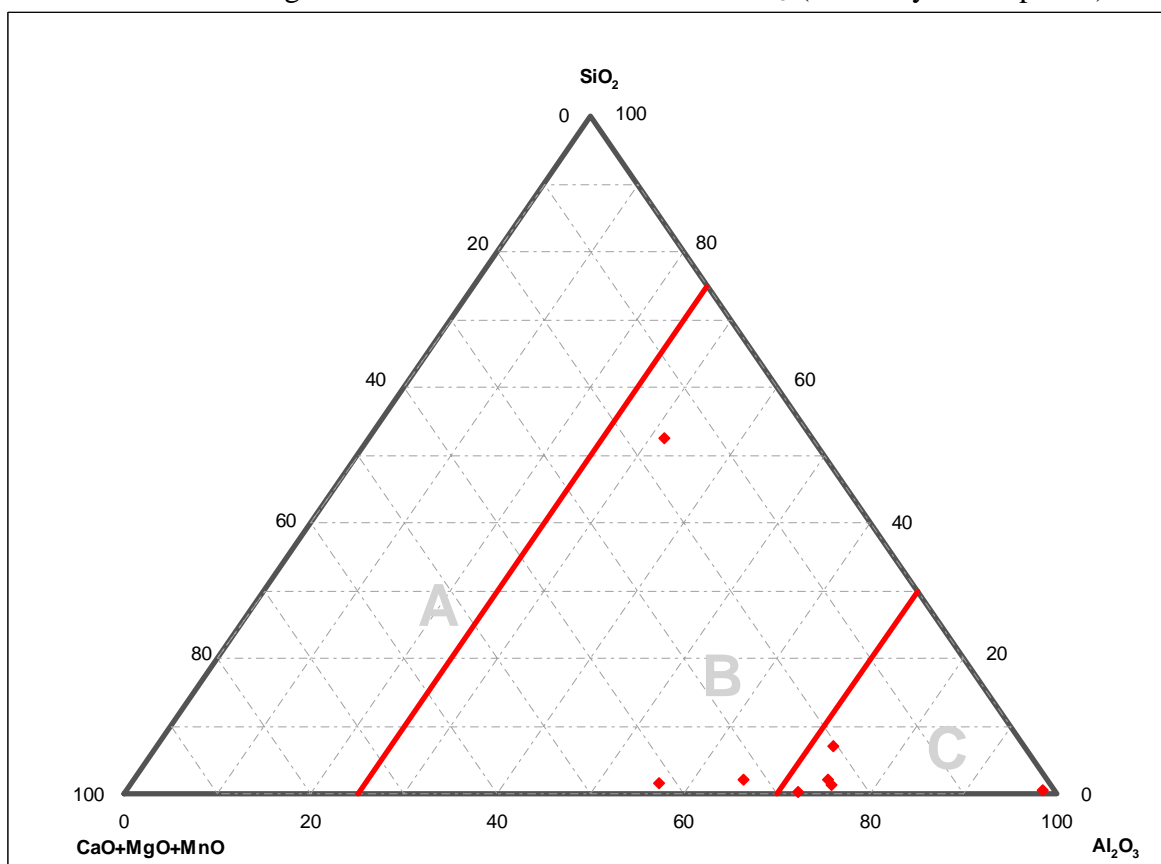
Obr. 39 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku C₂ (po přidání CaSi na RH)

Gumulec, T.: *Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním*. Disertační práce.

VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011.



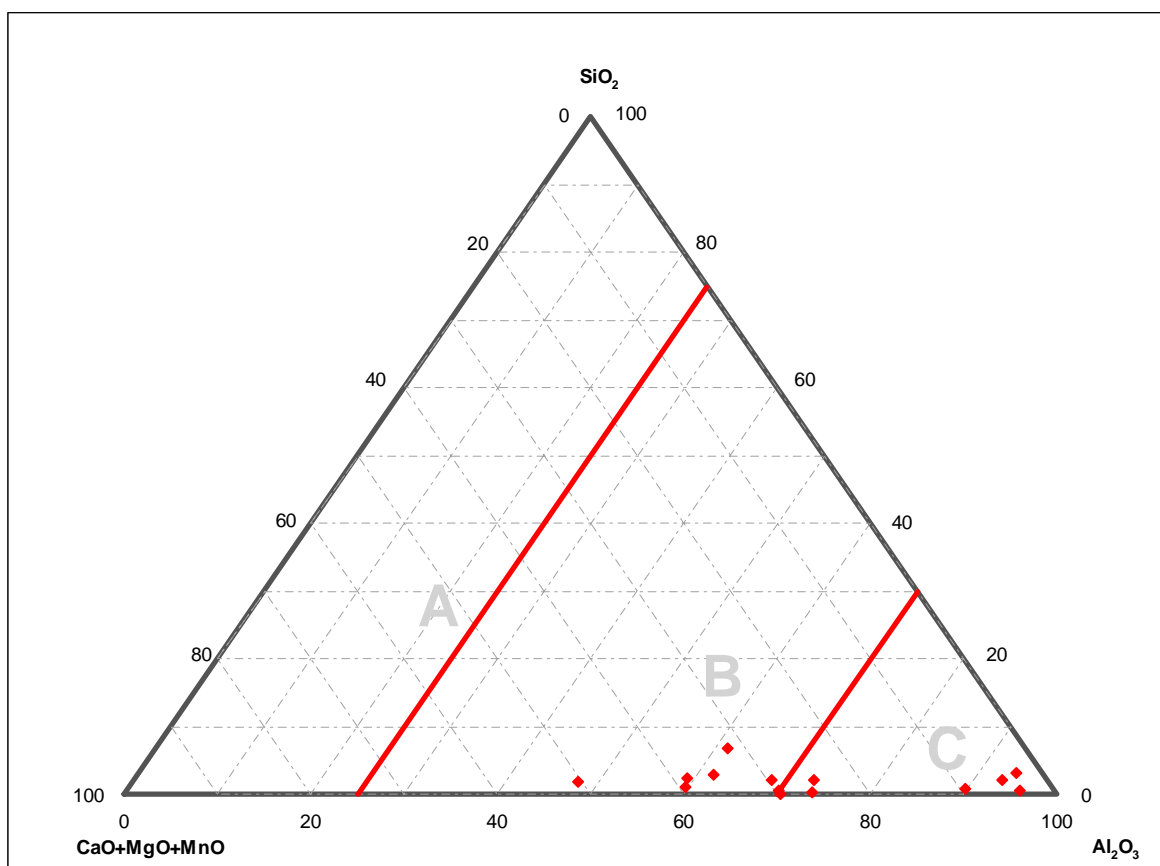
Obr. 40 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku A₃ (odebraný z mezipánve)



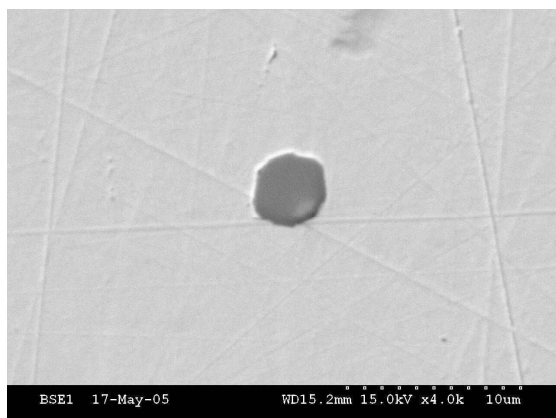
Obr. 41 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku B₃ (odebraný z mezipánve)

Gumulec, T.: *Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním*. Disertační práce.

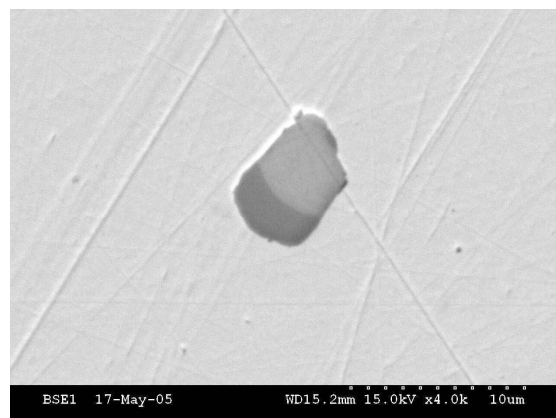
VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011.



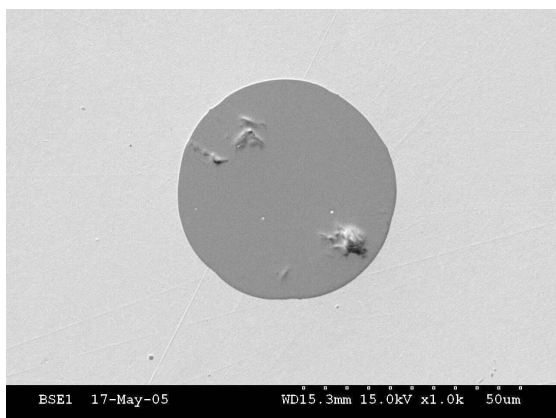
Obr. 42 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku C₃ (odebraný z mezipánve)



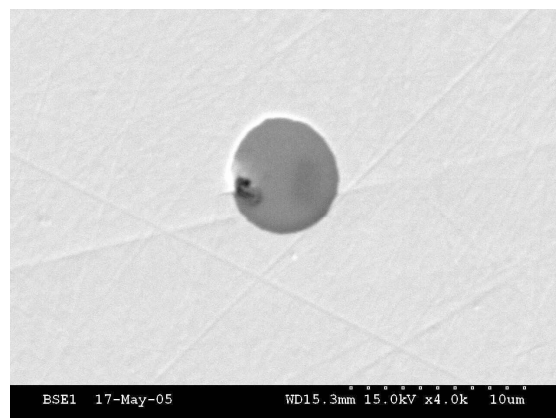
Obr. 43 Vměstek A₃₁



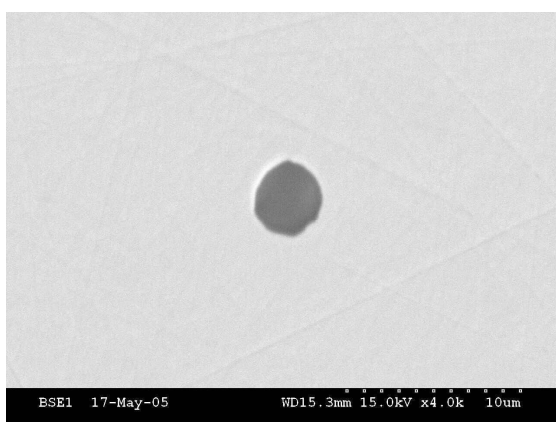
Obr. 44 Vměstek A₃₂



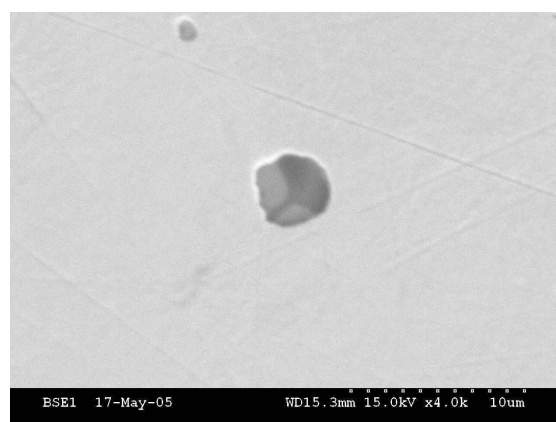
Obr. 45 Vměstek B₃₁



Obr. 46 Vměstek B₃₂



Obr. 47 Vměstek C₃₁



Obr. 48 Vměstek C₃₂

PROTOKOL O MIMOPECNÍM ZPRACOVÁNÍ TŽ a.s. 04. 2005 08:36:38 Datum: 31. 03. 2005 18:00:10 Kon.: 1 Tavba-ofi: 517 DTP plán: 4085 Kvalita-plán: 30MNV56 Zakázka: 33019289 int: 553 skut: 4085										Visr. tel.: 36294 Typ lití-plán: 2 Cesta MPŽ-plán: HPV Sekv: 1 skut: 2 skut: HPV									
Panev číslo: 5 Hm.oc.sku: 188.26 Počet taveb: 58										Odp-kon: 17:58:56 Počet tav.kom.: Lit-zač: 19:49:00 Teploata komory:									
PRŮBĚH ZPRACOVÁNÍ: (data: T Pl Intns Spotř) Sta Datum Od Do Doba Podp Oper z knihovny										PŘÍSADEY: Sta Čas Mater ObjMn přimn ZP Rych									
AR1 31.03 18:00 18:12 715 129 1.R HOMOGENIZACE AR1 Dmých: 18:00 18:06 340 S A 4.17 AR1 Dmých: 18:00 18:06 333 H N 3.65 PEC 31.03 18:31 19:08 2195 131 2.R VAKUOVANI PEC Dmých: 18:33 19:07 2017 S A 122 7.30 PEC Ohřev: 18:34 18:36 151 9 910.00 PEC Ohřev: 18:37 18:46 515 10 3530.00 PEC Ohřev: 18:48 18:56 484 10 3360.00 VAK 31.03 19:11 19:38 1585 135 3.R VAKUOVANI VAK Dmých: 19:31 19:35 245 S A 107 0.44 Vakuování: 19:21 19:28 837 Celk_vak: 913										DTP předpis: 1562-1567 AR1 18:07 1562 PEC 18:47 1591 PEC 19:02 1622 PEC 19:07 1620 VAK 19:30 1584 VAK 19:34 1581									
ANALÝZA STRUSKY: Sta Čas Čís T FE FEO MNO SIO2 AL203 CAO MGO S P205 BAS CR203 TIO2 CAF2 X4 X5 X6 PEC 19:07 1. S 1.1 2.34 28.4 14.8 37.7 8.14 0.15 0.01 1.33 0.02 0.64 1.1 VAK 19:30 2. S 0.7 2.15 27.7 14.9 38.4 8.73 0.16 0.02 1.38 0.03 0.78 0.6										DTP předpis: 1562-1567 AR1 18:07 1562 PEC 18:47 1591 PEC 19:02 1622 PEC 19:07 1620 VAK 19:30 1584 VAK 19:34 1581									
ANALÝZA OCELI: Sta Čas Čís T C MN SI P S CU CR NI AL MO V TI SN B CA H N NB SB DTP predp. min: 0.2700 1.3000 0.3000 0.0220 DTP predp. max: 0.2900 1.4500 0.4000 0.0200 0.0560 AR1 18:06 1. P 0.244 1.17 0.342 0.017 0.022 0.05 0.04 0.03 0.007 0.009 0.100 0.0018 0.003 0.0002 AR1 18:06 2. P PEC 19:46 3. G PEC 19:07 3. P 0.268 1.25 0.293 0.018 0.024 0.05 0.04 0.03 0.005 0.009 0.098 0.0018 0.003 0.0002 0.0037 VAK 19:50 4. G VAK 19:35 4. P 0.285 1.33 0.338 0.018 0.029 0.05 0.05 0.03 0.024 0.010 0.094 0.0254 0.003 0.0002 0.0017 VAK 19:37 5. H										DTP předpis: 1562-1567 AR1 18:07 1562 PEC 18:47 1591 PEC 19:02 1622 PEC 19:07 1620 VAK 19:30 1584 VAK 19:34 1581									
FINÁLNÍ ANALÝZA OCELI: Čas Čís T C MN SI P S CU CR NI AL MO CO V TI SN B CA H N NB SB										DTP předpis: 1562-1567 AR1 18:07 1562 PEC 18:47 1591 PEC 19:02 1622 PEC 19:07 1620 VAK 19:30 1584 VAK 19:34 1581									
21:10 6. F 0.292 1.37 0.348 0.018 0.029 0.05 0.06 0.03 0.022 0.008 0.003 0.089 0.0243 0.004 0.004										DTP předpis: 1562-1567 AR1 18:07 1562 PEC 18:47 1591 PEC 19:02 1622 PEC 19:07 1620 VAK 19:30 1584 VAK 19:34 1581									
B CA H CC N NB ZR SB PB W O ZN BI X1 X2 X3										DTP předpis: 1562-1567 AR1 18:07 1562 PEC 18:47 1591 PEC 19:02 1622 PEC 19:07 1620 VAK 19:30 1584 VAK 19:34 1581									
0.0002 0.0017 0.0119 0.003 0.01										DTP předpis: 1562-1567 AR1 18:07 1562 PEC 18:47 1591 PEC 19:02 1622 PEC 19:07 1620 VAK 19:30 1584 VAK 19:34 1581									

Obr. 50 Protokol o mimopecním zpracování tavby Y₁

HLÁŠENÍ O TAVBĚ NA ZAŘÍZENÍ PLYNULÉHO ODLEVÁNÍ OCELI Č. 2

Odlito dne: 31.03.05 Tiskeno: 15.4.2005 7:03:31 Uzavření tavby palíčky: 605 velin: 612
 Číslo tavby: 51731 DTP: 4085 Hut.ozn.: 30MNV56 Rodina: D40 Směna: A Mistr: 500 Operator 502
 Číslo ZPO2: 451761 Konvertor: 1 R Číslo sekvence: 251 Pořadí v sekv.: 1 Format 1-4: 150X150 Format 5-8: 150X150

	C	MN	SI	P	S	CU	CR	NI	ALC	MO	W	V	TI	CO
MIN	0.2600	1.2000	0.1500		0.0200				0.0100			0.0800	0.0100	
MAX	0.3300	1.6000	0.8000	0.0250	0.0600	0.2500	0.3000	0.1500	0.0500	0.0800		0.2000	0.0350	
VAK	0.285	1.33	0.338	0.018	0.029	0.05	0.05	0.03	0.024	0.010	0.01	0.094	0.0254	0.003
FINAL	0.292	1.37	0.348	0.018	0.029	0.05	0.06	0.03	0.022	0.008	0.01	0.089	0.0243	0.003

	AS	SN	B	NB	SB	PB	AL	N	H	CAC	ZR	Tepl.likvida	Čas
MIN								0.0100				1502	
MAX		0.0200						0.0200	3.0000			1483	
VAK	0.004	0.003	0.0002	0.003	0.004	0.0004		0.0101		0.0017	0.290	1496	19:40:05
FINAL	0.004	0.004	0.0002	0.003				0.0119	1.90	0.0017		1495	21:10:02

	LICÍ PÁNEV		MEZIPÁNEV		levá 1	levá 2	pravá 1	pravá 2	HMOTNOST [tun]	
Odpich konvertoru	17:49	Číslo	5	Číslo	1	0	21	0	Způsob vážení	Jeřab
Přijezd na MPZ	18:00	Posl.leplota	1581	Věk [taveb]	968	0	946	0	LP před litím	259.6
Konec mimopec.zprac.	19:38	Tara [tun]	70.5	Doba ohřevu	180	0	190	0	LP po lití	73.5 R
Přijezd na lici stojan	20:39	Posl. aktiv.O2	0	Tepl. ohřevu	1200	0	1200	0	Tekutá ocel	186.1
Pánev v lici pozici	20:55	Licí rameno	2	Krycí struska	RR		RR		Vracená ocel	0 R
1. otevření pánve	19:49 R	Doba lití [min]	65	Zatková tyč	35506	00.0	35506	00.0	Propal + okuje	0.9
1.uzavření pánve	20:54 R	Propalování	0	Vylevky	27487	00.0	27487	00.0	Odpad přední/zadní	7
2. otevření pánve		Stínící trubice	1	Slitek	0	0	0	0	Hmotnost šrot	5 R
2.uzavření pánve		Homogenizace	0	Použití O2 [min]	0	0	0	0	Hmotnost sochorů	175.1
									Odlitá hmotnost	173.2
									Havarijní pánev	0

Poznámka: 5.LP UTAVENA VYLEVKA

Délka sochorů [mm]	1: 11900	2: 0	sm.zac.: 0	sm.kon.: 11900	1: 11900	2: 0	sm.zac.: 0	sm.kon.: 11900	
Proud	1	2	3	4	5	6	7	8	Celkem
Otevření proudu	19:51 R	19:51 R	19:51 R	19:51 R	20:03 R	20:05 R	20:03 R	20:04 R	
Uzavření proudu	21:02 R	21:02 R	21:02 R	21:02 R	20:19 R	21:05 R	21:05 R	21:05 R	
Kod ztráty proudu				4					
Číslo krystalizatoru	1	4	3	6	12	10	7	5	
Věk krystaliz.	5474	9482	3519	3948	996	6246	6289	2770	
Křivka chlazení	09A	09A	09A	09A	09A	09A	09A	09A	
M-EMS [A]	209	209	208	209	0	209	209	209	
S-EMS [A]	28	29	30	29	0	30	29	29	
Průměrná rychlost	2.41	2.41	2.39	2.38	0	2.49	2.51	2.52	
Počet sochorů délka 1	10 R	10 R	10 R	10 R	0	8 R	8 R	8 R	64
Počet sochorů délka 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Počet směsných začat.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Počet směsných konec	3 R	3 R	3 R	3 R	0	3 R	3 R	3 R	21
Počet vzorků	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Délka začátku [mm]	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	36000
Délka konce [mm]	0	0	0	0	4500	0	0	0	4500
Licí prášek	1004 S6	1004 S6	1004 S6	1004 S6	1004 S6	1004 S6	1004 S6	1004 S6	Dat.vyr. / Typ
Čas měření	19:51	19:59	20:13	20:28	20:43	20:04	20:12	20:28	20:44
Tepl v MP	1558 R	1548 R	1549 R	1543 R	1534 R	1547 R	1545 R	1539 R	1531 R
Hmotn. v MP	11.80	11.80	11.90			12.20	12.10		
Přehřátí	45	45	31	0	0	41	41	0	0
Hmotn. v LP	168.9	115.8	22.6			172.00	118.4		
Aktivita O2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. 51 Hlášení o tavbě Y₁ na ZPO č.2

HLÁŠENÍ O TAVBĚ NA ZAŘÍZENÍ PLYNULÉHO ODLEVNÍ OCELI Č. 2

Odlito dne: 31.03.05 Tisťeno: 15.4.2005 7:03:38 Uzavření tavby palíčky: 605 velin: 612

Číslo tavby: 51732 DTP: 4085 Hut.ozn.: 30MNV56 Rodina: D40 Směna: A Mistr: 500 Operator 502

Číslo ZPO2: 451760 Konvertor: 2 R Číslo sekvence: 251 Pořadí v sekv.: 2 Format 1-4: 150X150 Format 5-8: 150X150

	C	MN	SI	P	S	CU	CR	NI	ALC	MO	W	V	TI	CO
MIN	0.2600	1.2000	0.1500		0.0200				0.0100			0.0800	0.0100	
MAX	0.3300	1.6000	0.8000	0.0250	0.0600	0.2500	0.3000	0.1500	0.0500	0.0800		0.2000	0.0350	
VAK	0.270	1.43	0.360	0.018	0.024	0.05	0.04	0.03	0.025	0.008	0.01	0.098	0.0288	0.003
FINAL	0.278	1.42	0.352	0.017	0.024	0.05	0.05	0.03	0.021	0.005	0.01	0.088	0.0249	0.003
	AS	SN	B	NB	SB	PB	AL	N	H	CAC	ZR		Tepl.likvida	Čas
MIN								0.0100					1502	
MAX		0.0200						0.0200	3.0000				1483	
VAK	0.006	0.003	0.0002	0.003	0.005	0.0010				0.0017	0.224		1497	20:38:55
FINAL	0.004	0.004	0.0002	0.003				0.0115	1.90	0.0018			1497	23:22:59

		LIČÍ PÁNEV			MEZIPÁNEV		levá 1	levá 2	pravá 1	pravá 2	HMOTNOST [tun]	
Odpich konvertoru	18:39	Číslo	14	Číslo	7	0	27	0	Způsob vážení	Jeřáb		
Příjezd na MPZ	18:48	Posl.teplota	1572	Věk [taveb]	215	0	215	0	LP před litím		266.6	
Konec mimopec.zprac.	20:35	Tara [tun]	72.5	Doba ohřevu	0	0	0	0	LP po liti		75.5 R	
Příjezd na lici stojan	19:47	Posl. aktiv.O2	0	Tepl. ohřevu	0	0	0	0	Tekutá ocel		191.1	
Pánev v lici pozici	19:47	Lici rameno	1	Krycí struska	RR		RR		Vracená ocel		0 R	
1. otevření pánve	20:56 R	Doba liti [min]	63	Zatková tyč	35506	00.0	35506	00.0	Propal + okuje		1	
1.uzavření pánve	21:59 R	Propalování	0	0	Vylevky	27487	00.0	27487	00.0	Odpad přední/zadní		0
2. otevření pánve		Stínící trubice	1	1	Slitek	0	0	0	0	Hmotnost šrot		0
2.uzavření pánve		Homogenizace	0	min	Použití O2 [min]	0	0	0	0	Hmotnost sochorů		197.7
										Odlitá hmotnost		190.1
										Havarijní pánve		0

Poznámka:

Délka sochorů [mm]	1: 11900	2: 0	sm.zac.: 11900	sm.kon.: 11900	1: 11900	2: 0	sm.zac.: 11900	sm.kon.: 11900		
Proud	1	2	3	4	5	6	7	8		Celkem
Otevření proudu	21:02 R	21:02 R	21:02 R	21:02 R	00:00 R	21:05 R	21:05 R	21:05 R		
Uzavření proudu	22:08 R	22:08 R	22:08 R	22:08 R	00:00 R	22:10 R	22:10 R	22:10 R		
Kod ztráty proudu										
Číslo krystalizatoru	1	4	3	6	12	10	7	5		
Věk krystaliz.	5503	9511	3550	3975	996	6273	6316	2799		
Křivka chlazení	09A	09A	09A	09A	09A	09A	09A	09A		
M-EMS [A]	209	208	208	209	208	209	210	210		
S-EMS [A]	28	29	30	29	30	30	29	29		
Průměrná rychlost	2.26	2.25	2.26	2.26	2.17	2.3	2.34	2.33		
Počet sochorů délka 1	5 R	5 R	5 R	5 R	0 R	5 R	5 R	5 R	35	
Počet sochorů délka 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Počet směsných začát.	5 R	5 R	5 R	4 R	0	4 R	4 R	5 R	32	
Počet směsných konec	4 R	4 R	5 R	4 R	0	4 R	4 R	4 R	29	
Počet vzorků	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
Délka začátku [mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Délka konce [mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Licí prášek	1004 S6	1004 S6	1004 S6	1004 S6	1004 S6	1004 S6	1004 S6	1004 S6	Dat.vyr. / Typ	
Čas měření	21:07	21:25	21:54	00:00	00:00	21:06	21:24	00:00	00:00	
Tepl v MP	1541 R	1540 R	1526 R	0 R	0 R	1537 R	1536 R	0 R	0 R	
Hmotn. v MP	11.40	12.40	12.10	12.30	12.30	9.50	12.20	11.90	12.00	
Přehřátí	55	45	46	46	37	44	42	42	34	
Hmotn. v LP	181.9	169.8	129.2	87.3	44.2	151.80	130.9	85.2	42.6	
Aktivita O2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr. 54 Hlášení o tavbě Y₂ na ZPO č.2

HLÁŠENÍ O TAVBĚ NA ZAŘÍZENÍ PLYNULÉHO ODLEVÁNÍ OCELI Č. 2

Odlito dne: 31.03.05 Tiskeno: 15.4.2005 7:03:43 Uzavření tavby paličky: 605 velin: 610
 Číslo tavby: 51733 DTP: 4085 Hut.ozn.: 30MNV56 Rodina: D40 Směna: B Mistr: 281 Operator 610 612
 Číslo ZPO2: 451762 Konvertor: 1 Číslo sekvence: 251 Pořadí v sekv.: 3 Format 1-4: 150X150 Format 5-8: 150X150

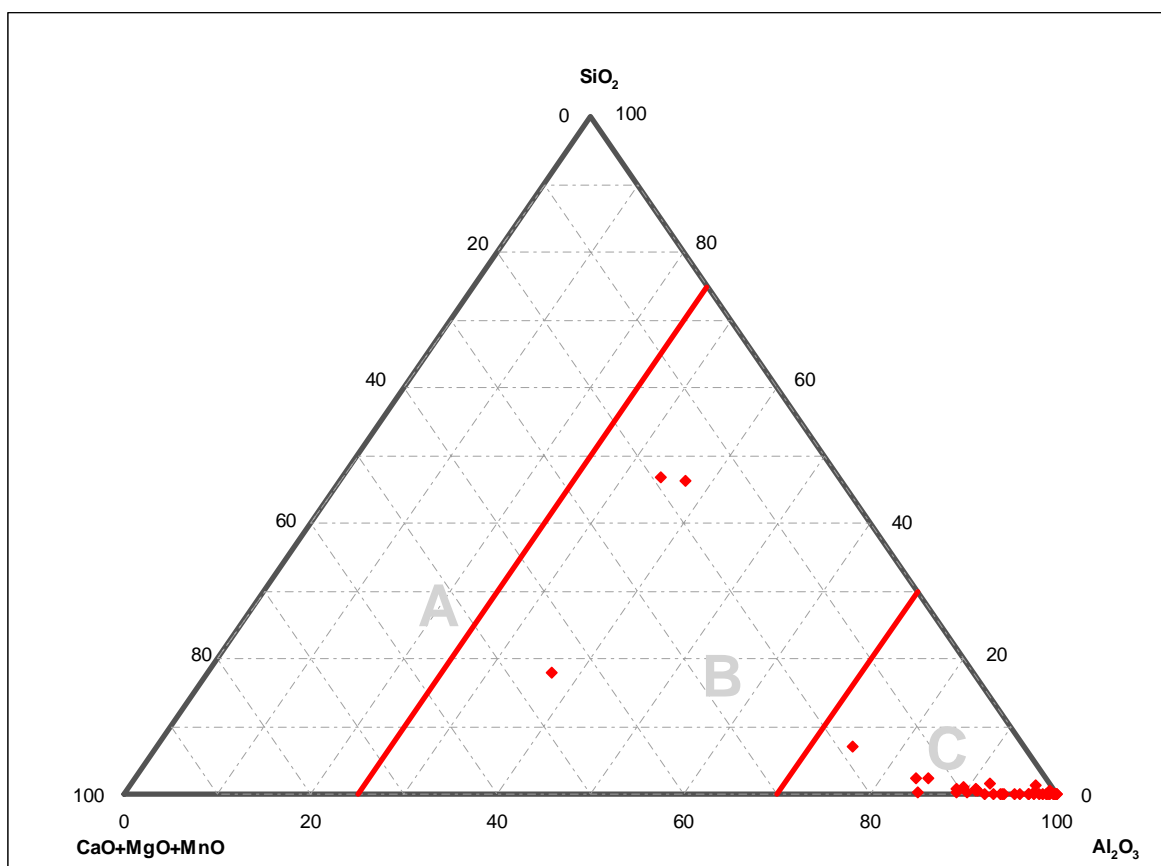
	C	MN	SI	P	S	CU	CR	NI	ALC	MO	W	V	TI	CO
MIN	0.2600	1.2000	0.1500		0.0200				0.0100			0.0800	0.0100	
MAX	0.3300	1.6000	0.8000	0.0250	0.0600	0.2500	0.3000	0.1500	0.0500	0.0800		0.2000	0.0350	
VAK	0.286	1.36	0.356	0.017	0.025	0.06	0.05	0.03	0.024	0.009	0.01	0.098	0.0282	0.003
FINAL	0.286	1.38	0.354	0.017	0.026	0.06	0.06	0.03	0.021	0.007	0.01	0.090	0.0262	0.003
	AS	SN	B	NB	SB	PB	AL	N	H	CAC	ZR		Tepl.likvida	Čas
MIN								0.0100					1502	
MAX		0.0200						0.0200	3.0000				1483	
VAK	0.005	0.005	0.0002	0.003	0.004	0.0007		0.0118		0.0019	0.262		1496	21:45:22
FINAL	0.003	0.005	0.0002	0.003				0.0125	1.80	0.0019			1496	23:35:14

	LICÍ PÁNEV			MEZIPÁNEV		levá 1	levá 2	pravá 1	pravá 2	HMOTNOST [tun]
Odpích konvertoru	19:05	Číslo	4	Číslo	1	0	21	0	Způsob vážení	
Příjezd na MPZ	19:15	Posl.teplota	1573	Věk [taveb]	969	0	947	0	LP před litím	
Konec mimopec.zprac.	21:43	Tara [tun]	76.5	Doba ohřevu	0	0	0	0	LP po lití	
Příjezd na lici stojan	21:52	Posl. aktiv.O2	0	Tepl. ohřevu	0	0	0	0	Tekutá ocel	
Pánev v lici pozici	22:01	Licí rameno	1	Krycí struska	RR		RR		Vracená ocel	
1. otevření pánve	22:02	Doba lití [min]	58	Zatková tyč	35506	00	35506	00	Propal + okuje	
1.uzavření pánve	23:00	Propalování	0	Vylevky	27487	00	27487	00	Odpad přední/zadní	
2. otevření pánve		Stínící trubice	1	Slitek	0.8	0	4.6	0	Hmotnost šrot	
2.uzavření pánve		Homogenizace	0	min	Použití O2 [min]	0	0	0	Hmotnost sochorů	
									Odlitá hmotnost	
									Havarijní pánve	

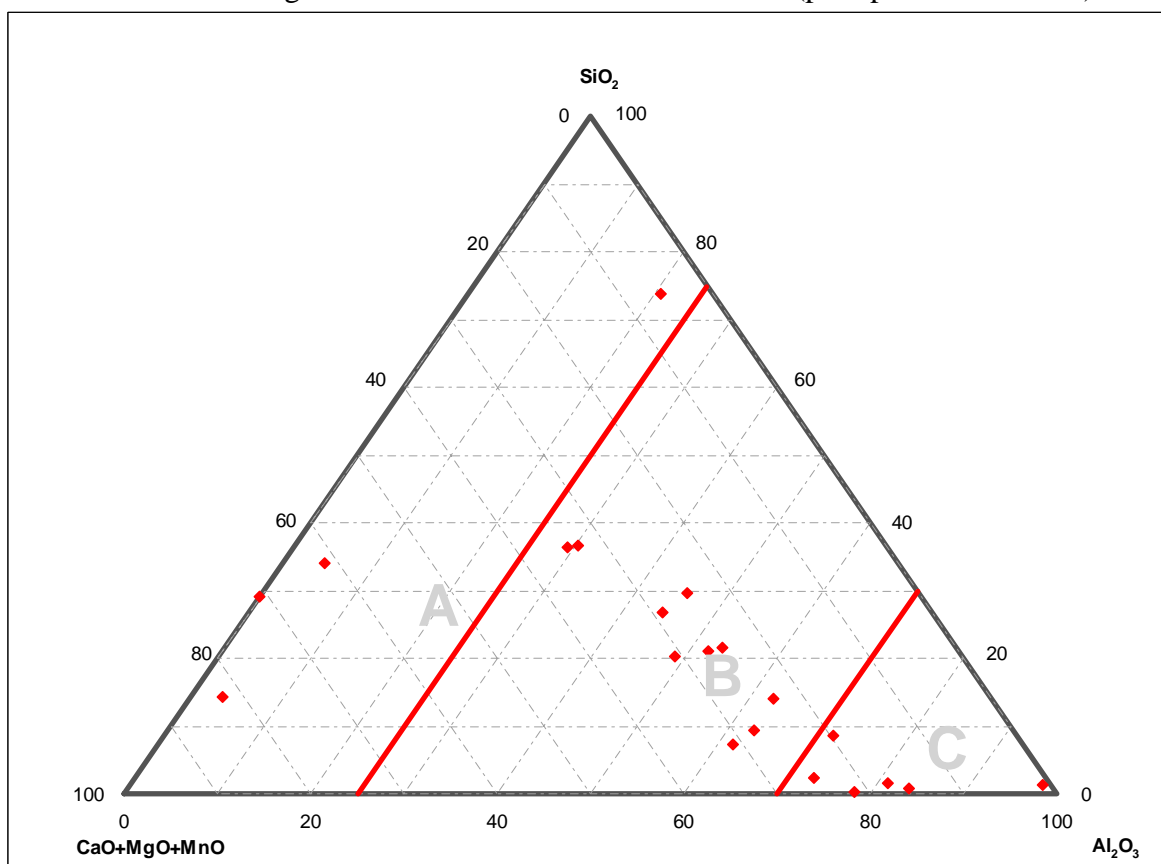
Poznámka:

Délka sochorů [mm]	1: 11900	2: 0	sm.zac.: 11900	sm.kon.: 0	1: 11900	2: 0	sm.zac.: 11900	sm.kon.: 0		
Proud	1	2	3	4	5	6	7	8	Celkem	
Otevření proudu	22:08	22:08	22:08	22:08		22:10	22:10	22:10		
Uzavření proudu	23:08	23:03	23:05	23:06		23:06	23:06	23:08		
Kod ztráty proudu										
Číslo krystalizatoru	1	4	3	6	12	10	7	5		
Věk krystaliz.	5528	9534	3573	3998	996	6298	6341	2826		
Křivka chlazení	09A	09A	09A	09A	09A	09A	09A	09A		
M-EMS [A]	209	209	209	210	0	208	209	208		
S-EMS [A]	28	29	30	29	0	30	29	29		
Průměrná rychlost	2.69	0.02	0.05	2.48	0	2.54	0.07	0.02		
Počet sochorů délka 1	8 R	7 R	7 R	7 R	0	8 R	8 R	8 R	53	
Počet sochorů délka 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Počet směsných začát.	4 R	4 R	4 R	4 R	0	4 R	4 R	5 R	29	
Počet směsných konec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Počet vzorků	0	0	1	0	0	1	1	0	3	
Délka začátku [mm]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Délka konce [mm]	4500	4500	4500	4500	0	4500	4500	4500	31500	
Licí prášek	0205 A2	0205 A2	0205 A2	0205 A2	0205 A2	0205 A2	0205 A2	0205 A2	Dat.vyr. / Typ	
Čas měření	22:11	22:28	22:43	22:44	22:56					
Tepl v MP	1539	1540	1532	1531	1525					
Hmotn. v MP	12.20	12.30	12.10	12.10	12.00					
Přehřátí	43	44	36	35	29					
Hmotn. v LP	164.1	113.1	67.1	65.2	19.4					
Aktivita O2	0	0	0	0	0					

Obr. 57 Hlášení o tavbě Y₃ na ZPO č.2



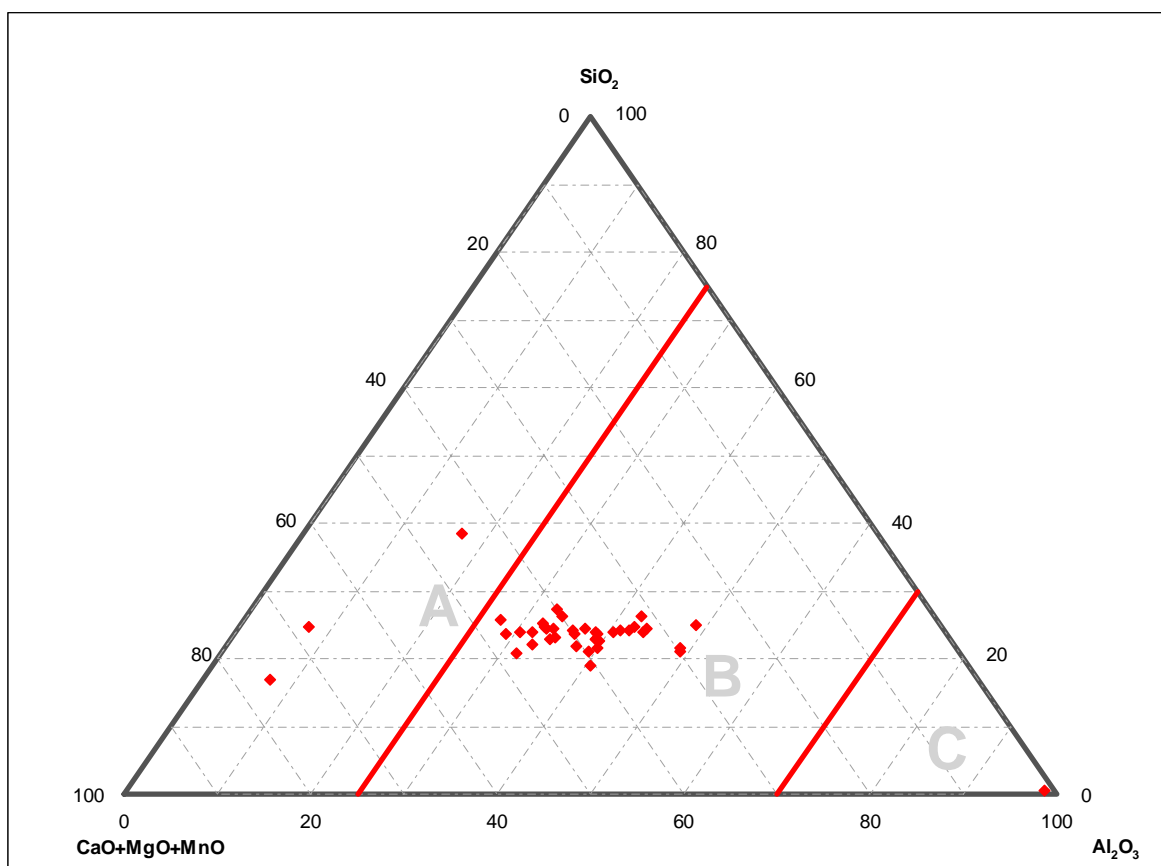
Obr. 58 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku L_1 (před přidáním CaCN_2)



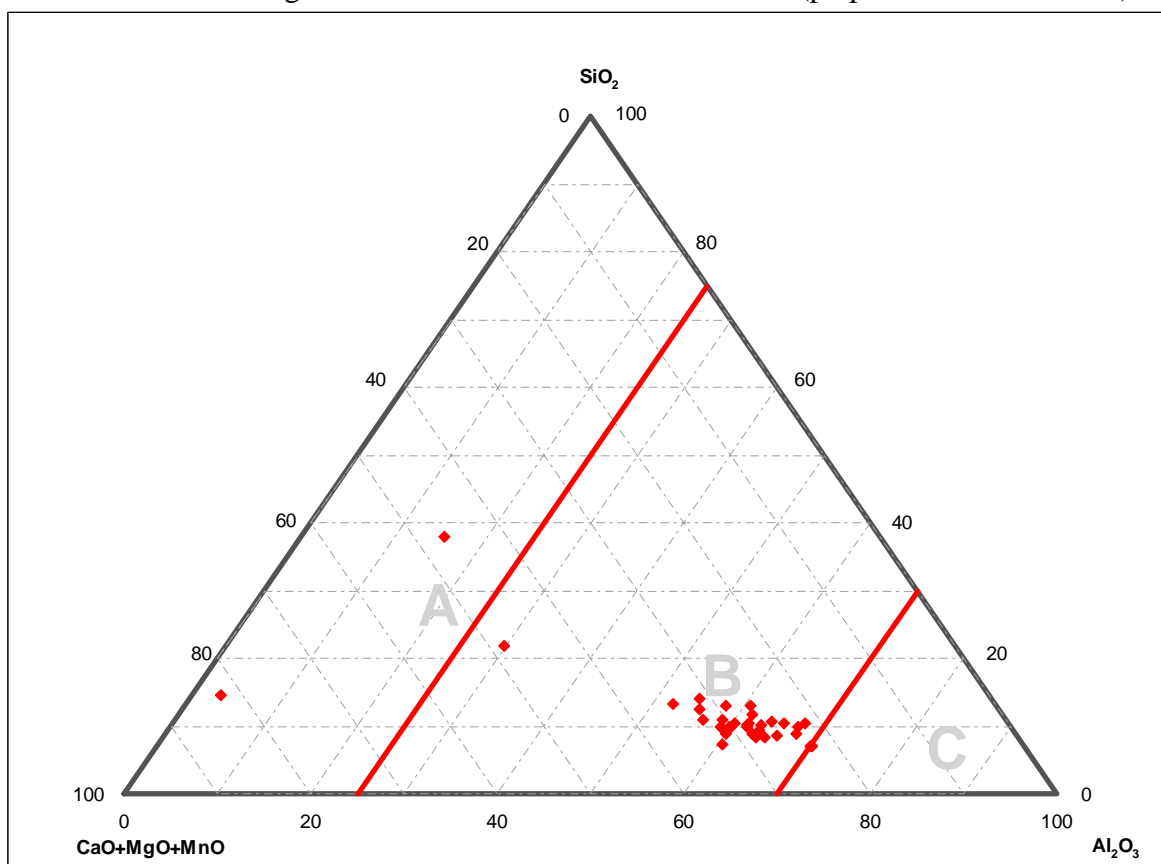
Obr. 59 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku M_1 (před přidáním CaCN_2)

Gumulec, T.: *Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním*. Disertační práce.

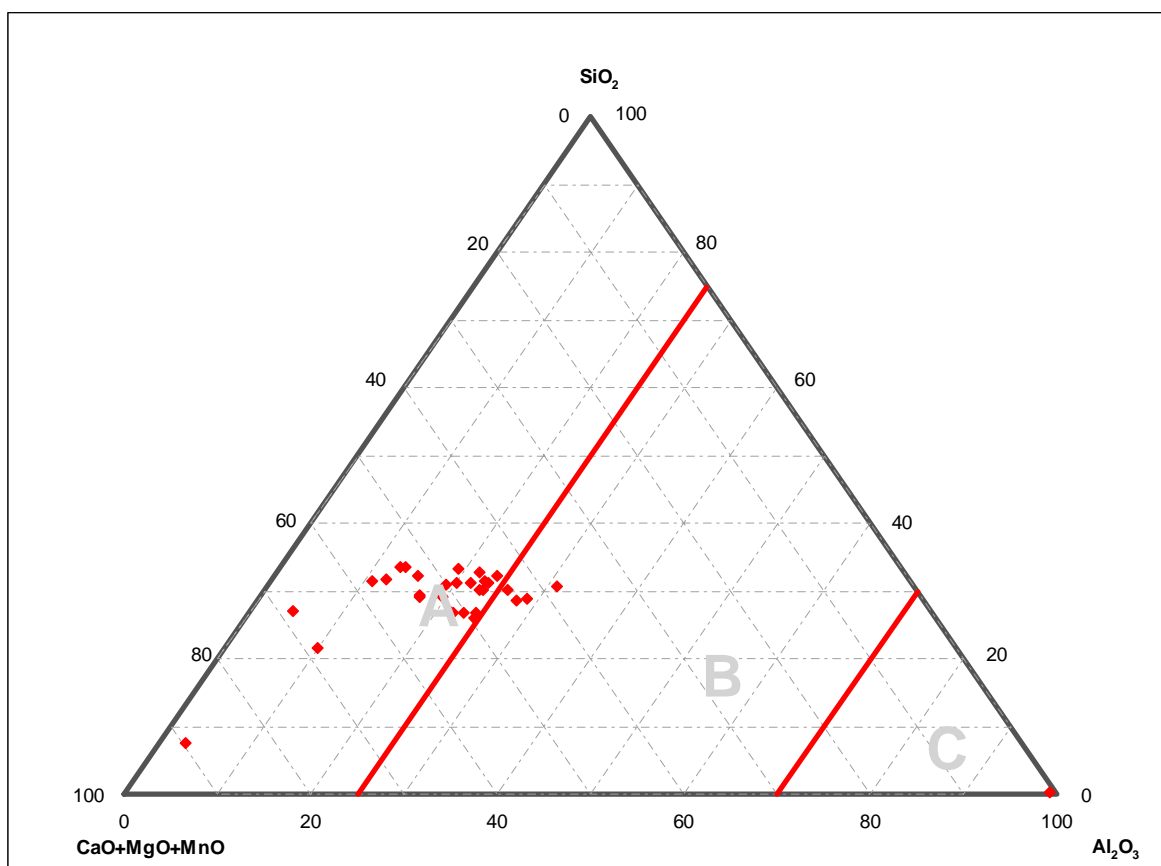
VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011.



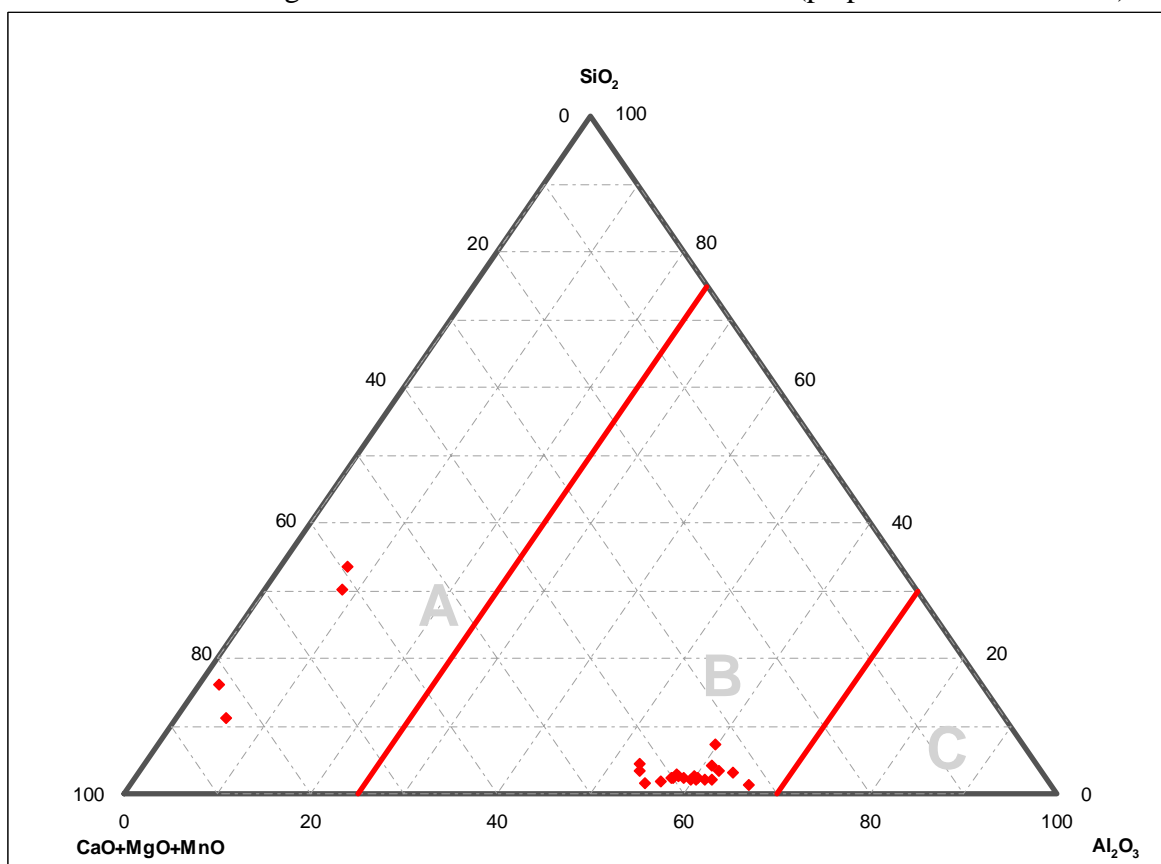
Obr. 60 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku K₂ (po přidání CaCN₂ na PP)



Obr. 61 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku L₂ (po přidání CaCN₂ na PP)



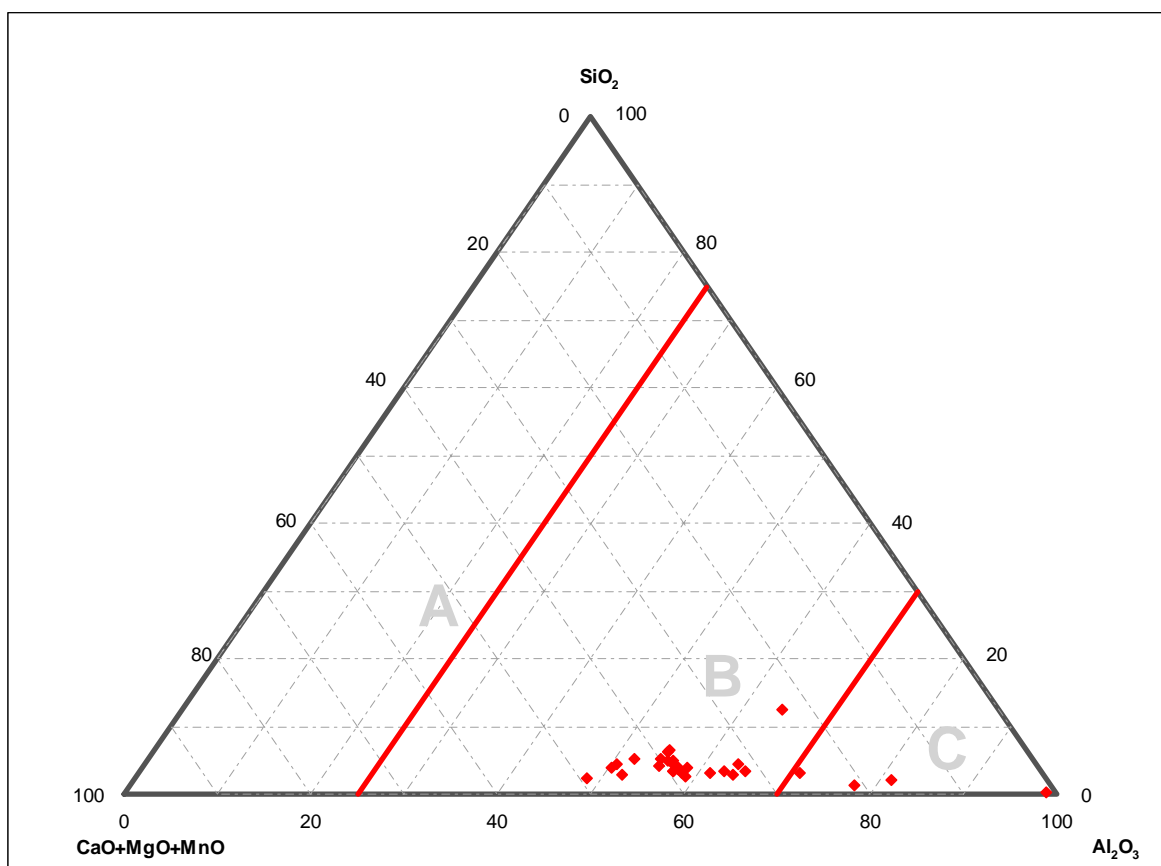
Obr. 62 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku M₂(po přidání CaCN₂ na PP)



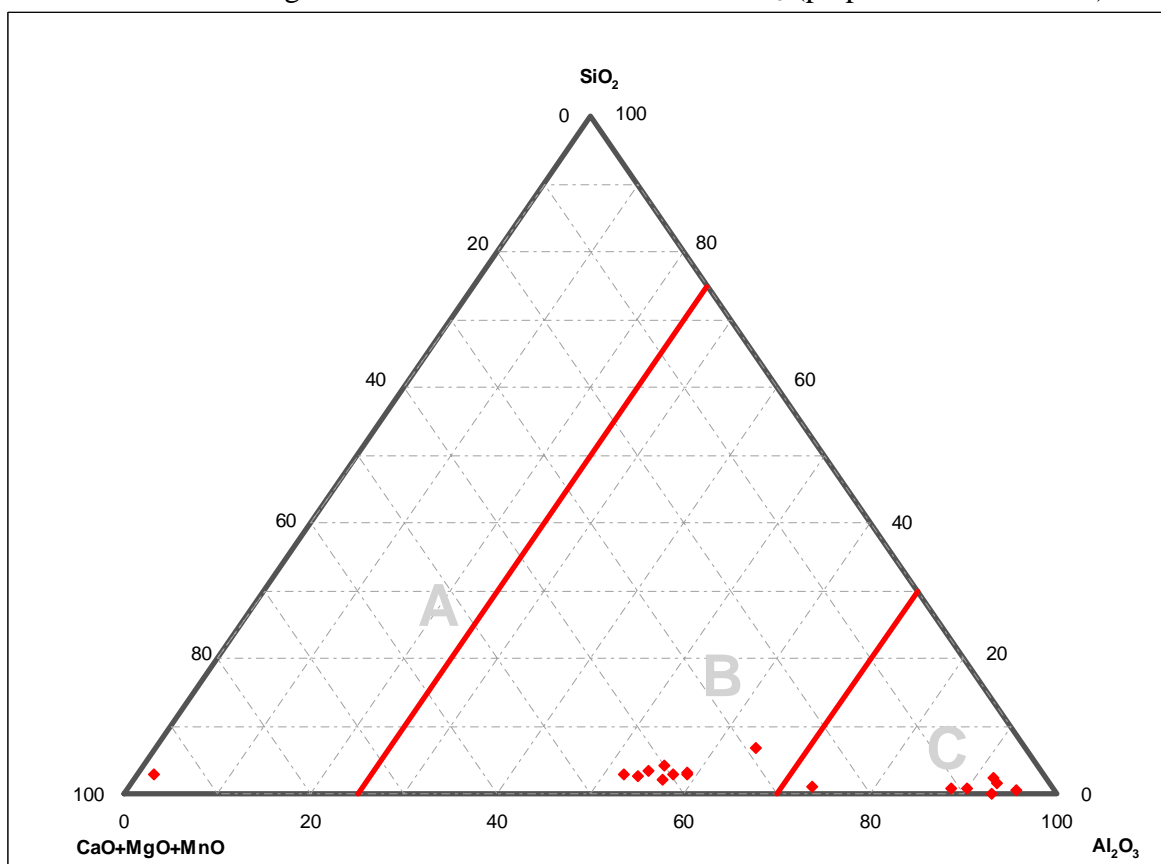
Obr. 63 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku K₃ (po přidání CaSi na RH)

Gumulec, T.: *Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním*. Disertační práce.

VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011.



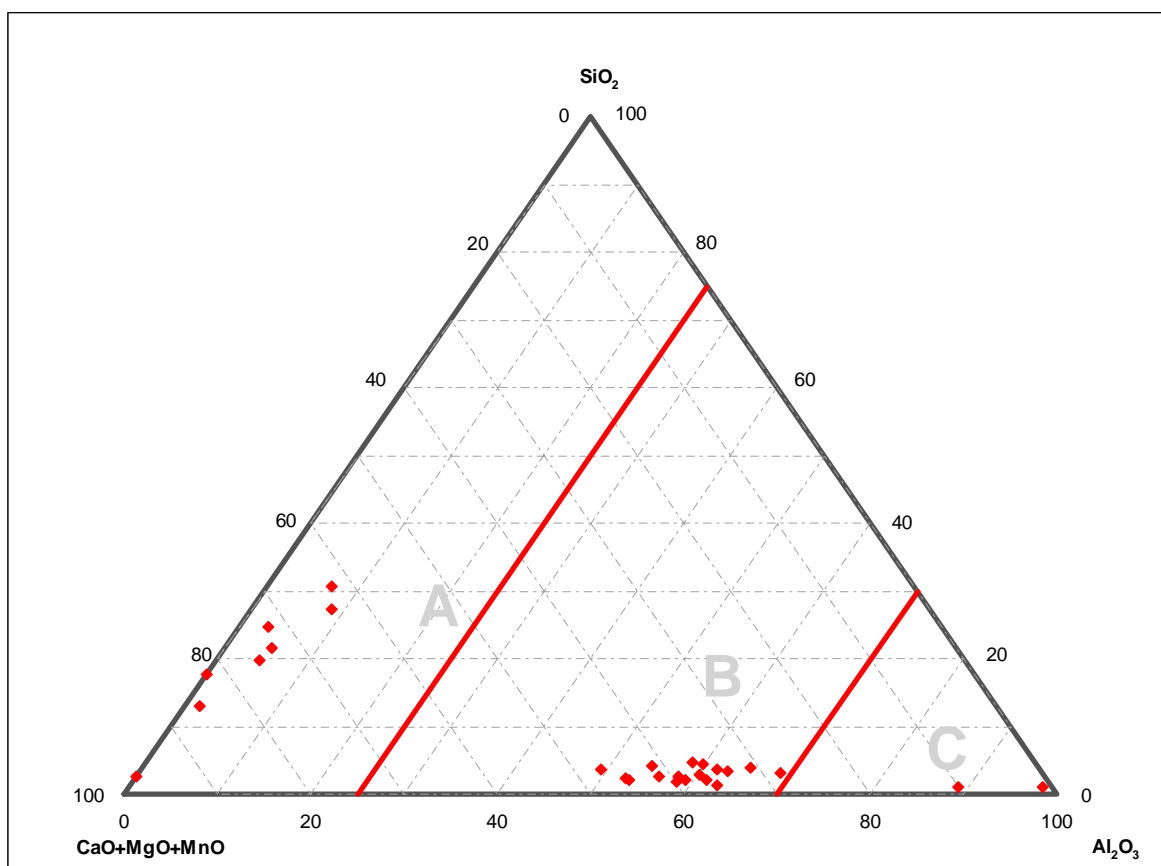
Obr. 64 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku L_3 (po přidání CaSi na RH)



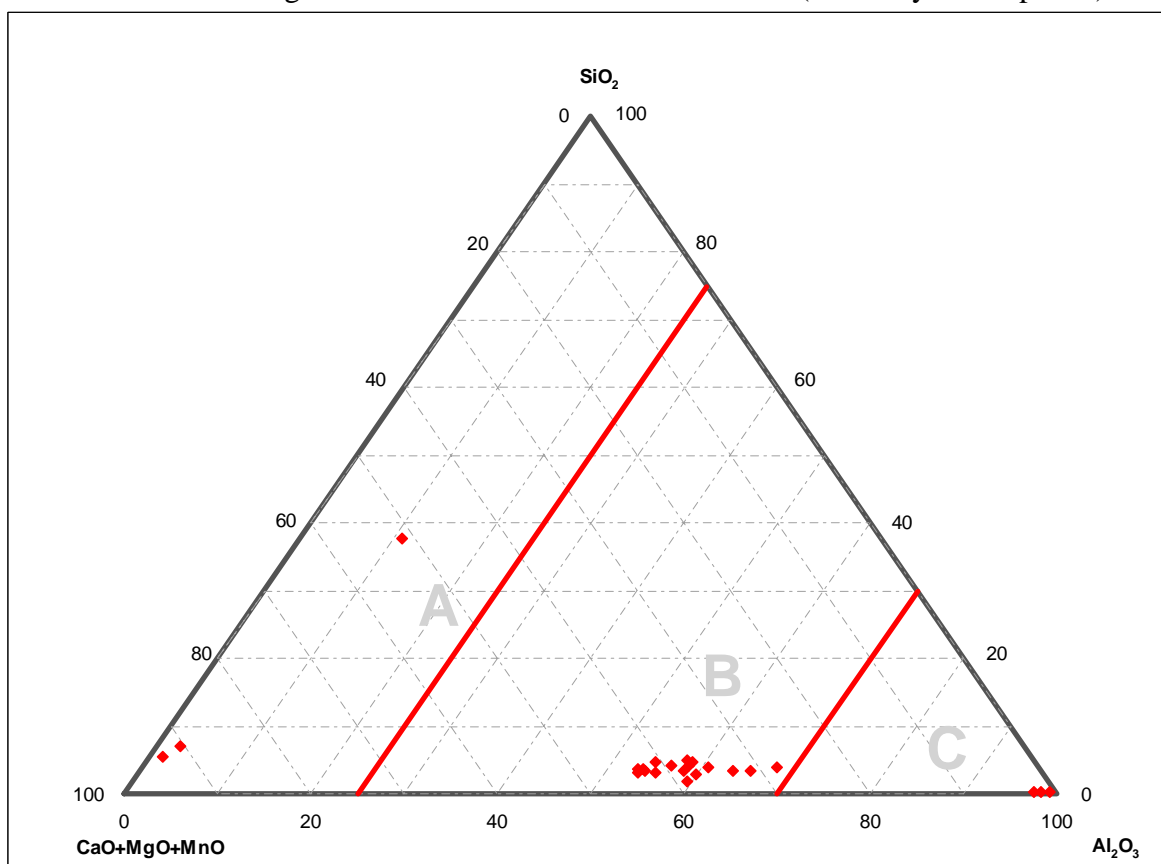
Obr. 65 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku M_3 (po přidání CaSi na RH)

Gumulec, T.: *Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním*. Disertační práce.

VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011.



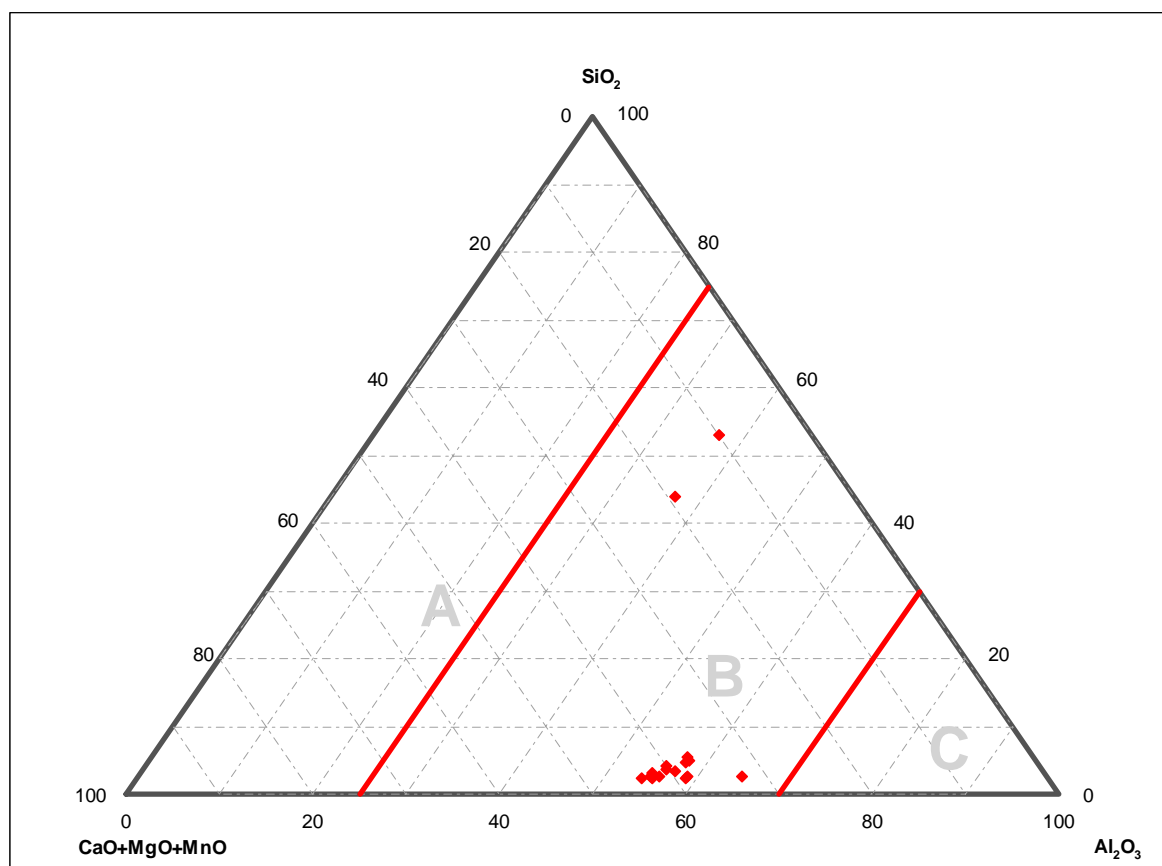
Obr. 66 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku K₄ (odebraný z mezipánve)



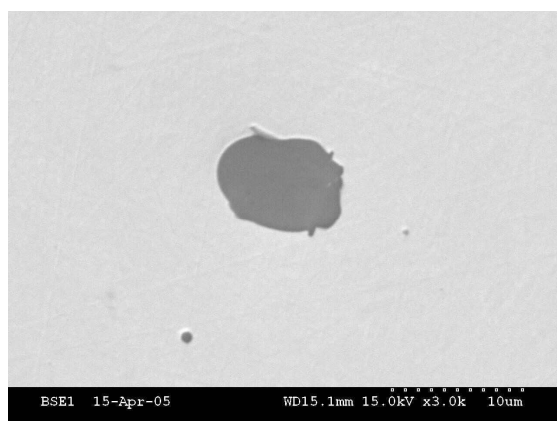
Obr. 67 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku L₄ (odebraný z mezipánve)

Gumulec, T.: *Řízení vlastností tekuté oceli před jejím plynulým odléváním*. Disertační práce.

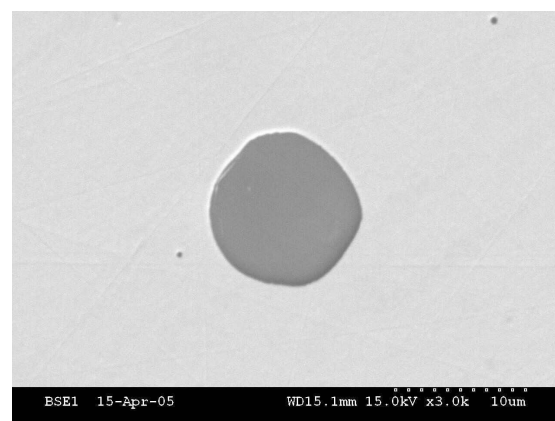
VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011.



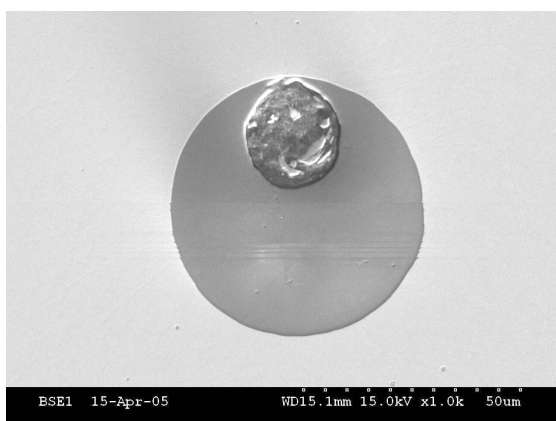
Obr. 68 Ternární diagram chem. složení vměstků vzorku M_4 (odebraný z mezipánve)



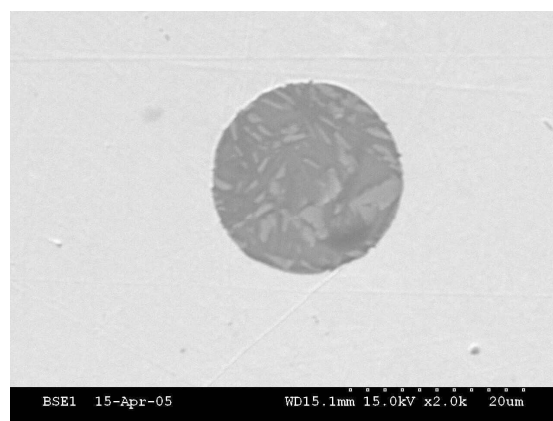
Obr. 69 Vměstek L_{21}



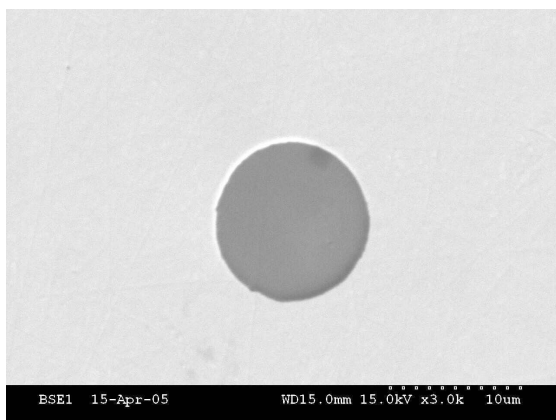
Obr. 70 Vměstek L_{22}



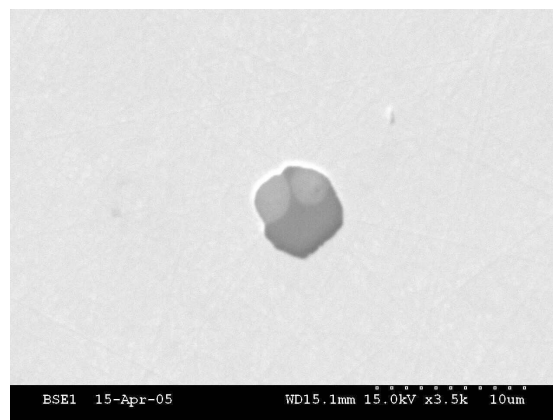
Obr. 71 Vměstek M_{21}



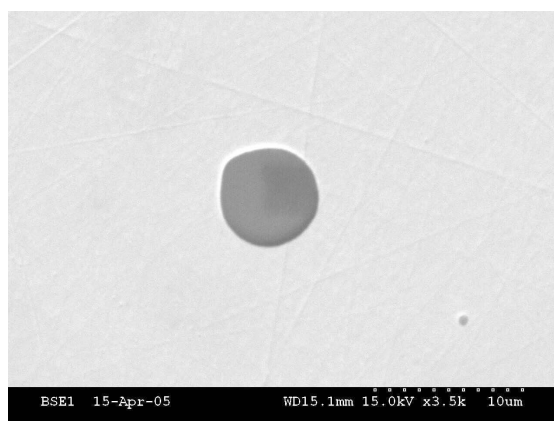
Obr. 72 Vměstek L_{41}



Obr. 73 Vměstek M_{41}



Obr. 74 Vměstek M_{42}



Obr. 75 Vměstek M_{43}